



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

**SEDE AZOGUES**

**INFORME FINAL DEL PROYECTO PROFESIONAL DE GRADO  
PREVIO A LA OBTENCION DEL GRADO ACADÉMICO DE  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS DE CAPTACIÓN Y MEDICIÓN PARA  
RIEGO EN LA PROVINCIA DEL CAÑAR.

**AUTOR:**

MARIO ANDRÉS CORONEL LEÓN

**TUTOR:**

ING. RÓMULO RICARDO ROMERO GONZÁLEZ

### APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de grado, presentado por el Sr. **Mario Andrés Coronel León** para optar por el título de **INGENIERO CIVIL**, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Azogues, a los 26 del mes de febrero del 2018.

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Ricardo', written over a horizontal line.

Ing. Ricardo Romero González

0301757084

### **CERTIFICADO DE AUTORIA**

El presente trabajo investigativo de proyecto profesional de grado previo a la obtención del título de INGENIERO CIVIL, cuyo tema es: **“Diseño Hidráulico de Obras de Captación y Medición para Riego en la Provincia del Cañar”** corresponden al trabajo de investigación del autor, además certifico que he cumplido con todas las observaciones realizadas por el tribunal evaluador.

Estudiante:



Mario Andrés Coronel León

**0301477261**

## **AGRADECIMIENTO**

A mi querida madre Eulalia, que con su demostración de madre ejemplar me ha enseñado a no rendirme ante las adversidades y seguir siempre adelante. Gracias por la paciencia, el apoyo y ese amor incondicional que me brindas día a día.

A mis hermanos, por depositar su confianza en mí, por compartir momentos malos y buenos juntos y enseñarme a sobrepasar cualquier dificultad.

A mis tías y tíos, quienes con su cariño, apoyo y comprensión han sido parte fundamental de mi vida. Me motivaron siempre a ser mejor persona y poder llegar a esta meta.

A todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto y que participaron de forma directa o indirecta en la elaboración de este trabajo de titulación.

Al Ing. Ricardo Romero, tutor del trabajo de titulación, por su valiosa guía y asesoramiento en la realización del mismo.

## **DEDICATORIA**

A Dios, por permitirme llegar a esta meta tan anhelada en mi vida y haberme brindado salud y vida para lograr mis objetivos.

Se lo quiero dedicar especialmente a mi madre, Eulalia, por haberme apoyado en todo momento, por la motivación constante, sus consejos y porque a pesar de las circunstancias y de mis errores supiste guiarme con amor. No tengo palabras para expresarte toda la gratitud y amor que te tengo.

A mi padre, quien a pesar de no estar conmigo siempre, sé que siempre deseo lo mejor para mí y me apoyo de una u otra manera.

A mis hermanos Cristian y Luis, quienes, con su cariño y aliento, han sido mi motivación y fortaleza para seguir adelante.

A todos mis tíos y tías, quienes con su inmenso cariño y apoyo incondicional fueron fundamentales para llegar hasta aquí.

A mi abuelita Chabela, sin duda no hubiera logrado esto si no me hubieses criado con tanto amor y esmero. Siempre fuiste una segunda madre para mí.

## **RESUMEN**

El presente trabajo de titulación tiene como propósito principal identificar los criterios técnicos para el dimensionamiento hidráulico de Obras de Captación y Medición de Caudal para Riego, recopilando la información expuesta por varios autores, para de esta manera aplicarla a los caudales más representativos de los Sistemas de Riego de la Provincia del Cañar.

Las Obras de Captación son de vital importancia en un aprovechamiento para Riego, ya que representan el punto de partida y de esta depende que se capte el caudal necesario que abastezca de manera eficaz a las parcelas.

En lo que se refiere a Obras de Medición de Caudal, su importancia radica en que permiten realizar un óptimo control en la distribución del agua en los sistemas de riego.

Los principales problemas que tienen los sistemas de riego existentes en la Provincia son el pésimo estado de la gran mayoría de Obras de Captación y la ausencia de Obras para Medición de Caudal. Por dicho motivo, este trabajo de titulación pretende promover la aplicación de bases técnicas en el diseño, con el objeto de que las obras hidráulicas sean bien concebidas y los sistemas de riego tengan un funcionamiento eficiente.

Cabe mencionar, que el diseño hidráulico de las Obras mencionadas se complementa con el desarrollo de hojas de Excel que permiten dinamizar y agilizar los cálculos.

**Palabras Clave:** SISTEMAS DE RIEGO, OBRAS, CAPTACIÓN, MEDICIÓN.



## CENTRO DE IDIOMAS

### ABSTRACT

The main purpose in this research is to identify the technical criteria for the hydraulic sizing of Water Collection and Measurement Works for Irrigation, by compiling the information from several authors, in order to apply it to the most representative flows of the Irrigation Water Systems from the Province of Cañar.

The Collection Works are vital for Irrigation, since they represent the starting point and it depends on the capture of the necessary flow that efficiently supplies the plots.

Regarding to Flow Measurement Works, their importance is based on the fact that they allow an optimal control in the distribution of water in irrigation systems.

The main problems that the current Province irrigation systems have are the bad state of the great majority of the Collection Works and the lack of works to measure the flow. For this reason, this investigation aims to promote the application of technical bases in the design, so that the hydraulic works are well conceived and the irrigation systems have an efficient operation.

It is worth mentioning that the hydraulic design of the aforementioned works is complemented by the development of the software Excel that make possible streamline and speed up the calculations.

**Keywords:** Irrigation Systems, Water, Collection Works, Measurement.

Azogues, 26 de febrero de 2018

EL CENTRO DE IDIOMAS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES, CERTIFICA QUE EL DOCUMENTO QUE ANTECEDE FUE TRADUCIDO POR PERSONAL DEL CENTRO PARA LO CUAL DOY FE Y SUSCRIBO.

  
LCDA. GABRIEL ESTRELLA G. MST.  
COORDINATOR



**INDICE GENERAL**

CAPITULO I .....	1
1 GENERALIDADES .....	1
1.1 INTRODUCCION .....	1
1.2 EL PROBLEMA.....	2
1.2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2.3 DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	5
1.4 OBJETIVOS .....	6
1.4.1 GENERAL.....	6
1.4.2 ESPECÍFICOS .....	6
1.5 METODOLOGÍA .....	7
CAPITULO II.....	8
2 MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 INFRAESTRUCTURA DE UN SISTEMA DE RIEGO .....	8
2.1.1 Obras de Captación.....	8
2.1.1.1 Definición .....	8
2.1.1.2 Clasificación de las Obras de Captación .....	9
2.1.1.2.1 Obras de toma con almacenamiento.....	9
2.1.1.2.2 Obras de toma por derivación directa .....	9

2.1.1.2.2.1	Toma Rústica.....	10
2.1.1.2.2.2	Toma Convencional .....	12
2.1.1.2.2.3	Toma de Fondo.....	15
2.1.2	Medidores de Caudal .....	17
2.1.2.1	Generalidades .....	17
2.1.2.2	Tipos de Medidores de Caudal .....	18
2.1.2.2.1	Métodos Directos .....	18
2.1.2.2.1.1	Aforo Volumétrico .....	18
2.1.2.2.1.2	Aforo Gravimétrico .....	20
2.1.2.2.2	Métodos en función del Área y Velocidad.....	20
2.1.2.2.2.1	Aforo con Flotador .....	22
2.1.2.2.2.2	Aforo con Molinete .....	23
2.1.2.2.3	Estructuras de Medición de Caudal.....	24
2.1.2.2.3.1	Vertederos .....	25
2.1.2.2.3.2	Aforadores de Régimen Critico.....	28
2.2	EL RIEGO EN LA PROVINCIA DEL CAÑAR .....	33
2.2.1	Generalidades.....	33
2.2.2	Caracterización del Riego en la Provincia por Cuenca Hidrográfica .....	34
2.2.2.1	Cuenca Hidrográfica del Río Cañar Alto (A).....	36
2.2.2.1.1	Sistemas de Riego .....	37
2.2.2.1.2	Número de usuarios en los Sistemas de Riego.....	38

2.2.2.1.3	Área Regada .....	38
2.2.2.1.4	Estado General de la Infraestructura de Riego.....	39
2.2.2.1.5	Tipología de las Obras de Captación.....	39
2.2.2.1.5.1	Fuentes que abastecen las Captaciones de los Sistemas de Riego ..	40
2.2.2.2	Cuenca Hidrográfica del Río Cañar Medio (M).....	40
2.2.2.2.1	Sistemas de Riego .....	41
2.2.2.2.2	Número de Usuarios en los Sistemas de Riego.....	42
2.2.2.2.3	Área Regada .....	42
2.2.2.2.4	Estado General de la Infraestructura de Riego.....	43
2.2.2.2.5	Tipología de las Obras de Captación.....	43
2.2.2.2.5.1	Fuentes que abastecen las Captaciones de los Sistemas de Riego ..	44
2.2.2.3	Cuenca Hidrográfica del Río Chimbo .....	45
2.2.2.3.1	Sistemas de Riego .....	45
2.2.2.3.2	Número de usuarios de los Sistemas de Riego.....	46
2.2.2.3.3	Área Regada .....	46
2.2.2.3.4	Estado General de la Infraestructura de Riego.....	47
2.2.2.3.5	Tipología de las Obras de Captación.....	47
2.2.2.3.5.1	Fuentes que abastecen las Captaciones de los Sistemas de Riego ..	47
2.2.2.4	Cuenca Hidrográfica del Río Taura.....	48
2.2.2.4.1	Sistemas de Riego .....	48
2.2.2.4.2	Número de usuarios de los Sistemas de Riego.....	49

2.2.2.4.3	Área Regada .....	50
2.2.2.4.4	Estado General de la Infraestructura de Riego.....	50
2.2.2.4.5	Tipología de las Obras de Captación.....	50
2.2.2.4.5.1	Fuentes que abastecen las Captaciones de los Sistemas de Riego ..	51
2.2.2.5	Cuenca Hidrográfica del Río Zamora.....	52
2.2.2.5.1	Sistemas de Riego .....	52
2.2.2.5.2	Número de usuarios de los Sistemas de Riego.....	53
2.2.2.5.3	Área Regada .....	53
2.2.2.5.4	Estado General de la Infraestructura de Riego.....	54
2.2.2.5.5	Tipología de las Obras de Captación.....	54
2.2.2.5.5.1	Fuentes que abastecen las Captaciones de los Sistemas de Riego ..	55
2.2.3	Síntesis de la Situación Actual del Riego en la Provincia .....	56
2.2.3.1	Distribución de los Sistemas de Riego .....	56
2.2.3.2	Estado General de la Infraestructura de Riego .....	57
2.2.3.3	Obras de Captación de la Provincia del Cañar .....	58
2.2.3.3.1	Tipología de las Obras de Captación.....	58
2.2.3.3.2	Estado de las Obras de Captación .....	59
CAPITULO III.....		60
3	BASES Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO .....	60
3.1	CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO HIDRAULICO DE LAS OBRAS DE CAPTACIÓN.....	60

3.1.1	Aspectos fundamentales para el Diseño de una Bocatoma.....	60
3.1.2	Estudios Fundamentales a ser tomados en cuenta previo al Diseño .....	61
3.1.3	TOMA CONVENCIONAL.....	63
3.1.3.1	Reja de Entrada.....	63
3.1.3.1.1	Criterios de Diseño.....	63
3.1.3.2	Desripador .....	65
3.1.3.2.1	Criterios de Diseño.....	65
3.1.3.3	Transición .....	66
3.1.3.3.1	Criterios de Diseño.....	66
3.1.3.4	Regulación de Crecidas .....	67
3.1.3.4.1	Criterios de Diseño.....	67
3.1.3.5	Azud.....	68
3.1.3.5.1	Criterios de Diseño.....	68
3.1.4	TOMA CON REJILLA DE FONDO .....	68
3.1.4.1	Rejilla de Captación.....	68
3.1.4.1.1	Criterios de Diseño.....	69
3.1.4.2	Galería .....	70
3.1.4.2.1	Criterios de Diseño.....	70
3.2	CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DE ESTRUCTURAS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL .....	70
3.2.1	VERTEDEROS.....	71

3.2.1.1	Criterios de Diseño Generales para medir caudales mediante Vertederos	71
3.2.1.2	Vertedero Rectangular	72
3.2.1.2.1	Vertedero Rectangular sin contracciones	72
3.2.1.2.2	Vertedero Rectangular con contracciones	72
3.2.1.3	Vertedero Triangular	73
3.2.1.4	Vertedero Trapezoidal	74
3.2.2	AFORADORES DE REGIMEN CRITICO	75
3.2.2.1	Aforador de Garganta Larga	75
3.2.2.2	Aforador de Garganta Corta Parshall	75
3.2.2.2.1	Puntos de Medición de Carga de Agua	76
3.2.2.3	Aforador de Garganta Cortada	78
3.2.2.4	Aforador RBC	79
CAPITULO IV		80
4	APLICACIÓN DE LAS HOJAS DE CÁLCULO EN EL DISEÑO	80
4.1	ASPECTOS GENERALES DE LAS HOJAS DE CÁLCULO	80
4.2	TOMA CONVENCIONAL	81
4.2.1	Diseño de la Rejilla de Captación	82
4.2.2	Diseño del Desripiador y compuerta de lavado	85
4.2.2.1	Diseño del Desripiador	85
4.2.2.2	Diseño del Canal y Compuerta de Lavado	87
4.2.3	Diseño de la transición	88

4.2.4	Diseño del Azud y Comprobación a Crecidas .....	89
4.2.4.1	Comprobación del Diseño con el Caudal de Crecida .....	89
4.2.4.2	Diseño del Azud .....	91
4.3	TOMA CON REJILLA DE FONDO .....	95
4.3.1	Diseño de la Rejilla de Captación .....	95
4.3.2	Diseño del canal colector o galería .....	96
4.4	ESTRUCTURAS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL .....	98
4.4.1	VERTEDEROS .....	98
4.4.1.1	Vertedero Rectangular .....	98
4.4.1.2	Vertedero Triangular .....	99
4.4.1.3	Vertedero Trapezoidal .....	99
4.4.2	AFORADOR DE GARGANTA LARGA .....	99
4.4.3	AFORADOR DE GARGANTA CORTA PARSHALL .....	100
4.4.4	AFORADOR DE GARGANTA CORTADA .....	100
4.5	RANGO DE CAUDAL REPRESENTATIVO PARA EL DISEÑO .....	101
4.5.1	Análisis Estadístico de Distribución de Frecuencias .....	105
4.5.2	Histograma de Frecuencias .....	107
4.6	DISEÑO HIDRÁULICO DE LAS OBRAS APLICANDO EL RANGO DE CAUDAL REPRESENTATIVO .....	108
4.6.1	Toma Convencional .....	108
4.6.1.1	Diseño de la Rejilla de Captación .....	109

4.6.1.2	Diseño del Desripiador y Compuerta de lavado.....	110
4.6.1.2.1	Desripiador .....	110
4.6.1.2.2	Compuerta de lavado.....	111
4.6.1.3	Diseño de la Transición .....	111
4.6.2	Toma con Rejilla de Fondo.....	112
4.6.2.1	Diseño de la Rejilla de Captación.....	113
4.6.2.2	Diseño del Canal Colector.....	114
CAPITULO V.....		116
5	CONCLUSIONES .....	116
Bibliografía .....		117

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación Provincia del Cañar.....	4
<b>Figura 2.</b> Bocatoma Rústica.....	10
<b>Figura 3.</b> Bocatoma Directa Frontal .....	11
<b>Figura 4.</b> Toma lateral mediante espigones sin barraje .....	11
<b>Figura 5.</b> Toma lateral mediante espigones con barraje .....	12
<b>Figura 6.</b> Partes de una Captación Convencional .....	12
<b>Figura 7.</b> Partes de una Toma con Rejilla de Fondo.....	16
<b>Figura 8.</b> Vista de perfil de una Toma con Rejilla de Fondo.....	17
<b>Figura 9.</b> Vista en planta de una Toma con Rejilla de Fondo.....	17
<b>Figura 10.</b> Aforo Volumétrico .....	19
<b>Figura 11.</b> Medición de Caudal en un Aspersor .....	19
<b>Figura 12.</b> Variación de la Velocidad en una Corriente .....	21
<b>Figura 13.</b> Sección Transversal Irregular de una Corriente .....	22
<b>Figura 14.</b> Medición de la Velocidad Superficial de la Corriente con un flotador.....	23
<b>Figura 15.</b> Tipos de Molinetes usados en el aforo de corrientes.....	24
<b>Figura 16.</b> Ecuación para hallar la velocidad según el modelo del molinete.....	24
<b>Figura 17.</b> Partes de un Vertedero para Medición de Caudal .....	26
<b>Figura 18.</b> Vertedero Rectangular con escala graduada .....	27
<b>Figura 19.</b> Vertedero Triangular .....	27
<b>Figura 20.</b> Vertedero Trapezoidal Cipolletti.....	28

<b>Figura 21.</b> Esquema General de un Aforador de Garganta Larga .....	29
<b>Figura 22.</b> Geometría Transversal de los Aforadores .....	29
<b>Figura 23.</b> Aforador de Garganta larga Trapezoidal y Rectangular .....	30
<b>Figura 24.</b> Planta, Elevación y dimensiones de un Aforador Parshall.....	30
<b>Figura 25.</b> Aforador de Garganta Cortada .....	31
<b>Figura 26.</b> Vertedero Aforador de Cresta Ancha Trapezoidal.....	32
<b>Figura 27.</b> Aforador portátil RBC.....	33
<b>Figura 28.</b> Cuencas Hidrográficas de la Provincia del Cañar .....	35
<b>Figura 29.</b> Cuenca Hidrográfica del Río Cañar Alto (A).....	36
<b>Figura 30.</b> Cuenca Hidrográfica del Río Cañar Medio (M).....	40
<b>Figura 31.</b> Cuenca Hidrográfica del Río Chimbo .....	45
<b>Figura 32.</b> Cuenca Hidrográfica del Río Taura.....	48
<b>Figura 33.</b> Cuenca Hidrográfica del Río Zamora .....	52
<b>Figura 34.</b> Estado General de la Infraestructura de Riego.....	57
<b>Figura 35.</b> Ubicación de la Toma.....	61
<b>Figura 36.</b> Reja de Entrada .....	63
<b>Figura 37.</b> Desripiador .....	65
<b>Figura 38.</b> Transición.....	66
<b>Figura 39.</b> Esquema de La Transición en Planta .....	67
<b>Figura 40.</b> Comportamiento del Flujo en Crecidas.....	67
<b>Figura 41.</b> Esquema del Azud y Disipación de la Energía .....	68

<b>Figura 42.</b> Esquema de la Rejilla de Fondo .....	69
<b>Figura 43.</b> Galería de una Toma de Fondo .....	70
<b>Figura 44.</b> Vertedero Rectangular sin contracciones .....	72
<b>Figura 45.</b> Dimensiones mínimas para un Vertedero Rectangular con Contracciones .....	73
<b>Figura 46.</b> Medición de Caudal mediante un Vertedero Triangular .....	73
<b>Figura 47.</b> Fórmulas de Descarga de un Vertedero Triangular.....	74
<b>Figura 48.</b> Vertedero Trapezoidal Cipolletti.....	74
<b>Figura 49.</b> Perfil del Aforador Parshall y las pendientes recomendadas .....	76
<b>Figura 50.</b> Punto de Medición de la carga de agua.....	76
<b>Figura 51.</b> Medida de la Carga de agua en un Aforador Parshall Sumergido .....	77
<b>Figura 52.</b> Ábaco de valores de corrección para medidores ahogados.....	77
<b>Figura 53.</b> Rango de Caudales según el ancho de la garganta del Aforador Parshall .....	78
<b>Figura 54.</b> Dimensiones recomendadas del Aforador de Garganta Cortada.....	79
<b>Figura 55.</b> Dimensiones de los Aforadores RBC según la gama de caudales a medir .....	79

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Zona de estudio de acuerdo a cantones y Parroquias.....	5
Tabla 2 Distribución de los Sistemas de Riego por Cuenca Hidrográfica.....	35
Tabla 3 Superficie territorial por Cuenca Hidrográfica .....	36
Tabla 4 Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Cañar (A) .....	37
Tabla 5 Número de usuarios de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Cañar (A).....	38
Tabla 6 Área Regada en la Cuenca Hidrográfica del Río Cañar (A).....	38
Tabla 7 Estado General de la Infraestructura de Riego en la Cuenca del Río Cañar (A).....	39
Tabla 8 Tipos de Captación de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Cañar (A).....	39
Tabla 9 Fuentes de abastecimiento para Captaciones en la Cuenca Hidrográfica del Río Cañar (A).....	40
Tabla 10 Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Cañar (M).....	41
Tabla 11 Número de usuarios de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Cañar (M) .....	42
Tabla 12 Área Regada en la Cuenca Hidrográfica del Río Cañar (M) .....	43
Tabla 13 Estado General de la Infraestructura de Riego en la Cuenca del Río Cañar (M) .....	43
Tabla 14 Tipos de Captación de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Cañar (M) .....	44
Tabla 15 Fuentes de abastecimiento para Captaciones en la Cuenca Hidrográfica del Río Cañar (M) .....	44
Tabla 16 Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Chimbo.....	45
Tabla 17 Número de usuarios de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Chimbo.....	46
Tabla 18 Área Regada en la Cuenca Hidrográfica del Río Chimbo .....	46

Tabla 19 Estado General de la Infraestructura de Riego en la Cuenca del Río Chimbo .....	47
Tabla 20 Tipos de Captación de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Chimbo .....	47
Tabla 21 Fuentes de abastecimiento para Captaciones en la Cuenca del Río Chimbo.....	48
Tabla 22 Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Taura .....	49
Tabla 23 Número de usuarios de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Taura.....	49
Tabla 24 Área Regada en la Cuenca del Río Taura .....	50
Tabla 25 Estado General de la Infraestructura de Riego en la Cuenca del Río Taura.....	50
Tabla 26 Tipos de Captación de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Taura.....	51
Tabla 27 Fuentes de abastecimiento para Captaciones en la Cuenca del Río Taura .....	51
Tabla 28 Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Zamora .....	52
Tabla 29 Número de usuarios de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Zamora .....	53
Tabla 30 Área Regada en la Cuenca del Río Zamora .....	54
Tabla 31 Estado General de la Infraestructura de Riego en la Cuenca del Río Zamora.....	54
Tabla 32 Tipos de Captación de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Zamora.....	55
Tabla 33 Fuentes de abastecimiento para Captaciones en la Cuenca del Río Zamora .....	55
Tabla 34 Distribución de los Sistemas de Riego en la Provincia del Cañar .....	56
Tabla 35 Estado General de la Infraestructura de Riego de la Provincia del Cañar .....	57
Tabla 36 Tipología de las Obras de Captación para Riego en la Provincia del Cañar .....	58
Tabla 37 Estado de las Obras de Captación para Riego en la Provincia del Cañar .....	59
Tabla 38 Caudal de los Sistemas de Riego de la Provincia del Cañar.....	101
Tabla 39 Cálculos Previos al Análisis de Frecuencias.....	106

Tabla 40 Intervalos de Clase.....	106
Tabla 41 Distribución de Frecuencias.....	107

## **CAPITULO I**

### **1 GENERALIDADES**

#### **1.1 INTRODUCCION**

En la Provincia del Cañar, el aprovechamiento del recurso hídrico para riego constituye un pilar fundamental para la adecuada producción agrícola; en efecto, intensifica la producción de cultivos asegurando la soberanía alimentaria y el buen vivir.

La práctica de riego demanda grandes volúmenes de agua, por lo tanto, su manejo debe ser eficiente para garantizar la sostenibilidad de dicho recurso. Precisamente, con el paso de los años se ha ido incrementando la necesidad de intensificar la eficiencia en los sistemas de riego, convirtiéndose en una exigencia social y técnica cada vez mayor.

Los sistemas de Riego comprenden una gran cantidad de obras hidráulicas cuya finalidad es la de captar el agua necesaria, regularizarla, transportarla y distribuirla a los terrenos de cultivo. Para generar un óptimo desempeño de las obras hidráulicas, es de suma importancia la aplicación de criterios técnicos al momento de diseñarlas.

Considerando que la eficiencia de un sistema de riego se basa en la relación del agua realmente usada en el regadío respecto a la captada a nivel de Bocatoma, y tomando en cuenta la necesidad de cuantificar los volúmenes de agua en los sistemas de riego, el presente estudio se enfoca en las obras de Captación y de Medición de caudal.

El caudal es un parámetro clave en el dimensionamiento de las obras en estudio, al mismo tiempo, existe gran dispersión entre los valores de caudal aforados en los sistemas de riego de la Provincia, por lo tanto, con el objeto de centrarse únicamente en los de mayor incidencia, se ha considerado fundamental determinar el rango de caudal a usarse para el diseño (Rango

Representativo), el mismo que se establece mediante una revisión de los caudales de diseño existentes y un análisis estadístico de los mismos.

La captación predominante en la Provincia del Cañar es la Rústica, la misma que al ser una obra de derivación muy básica, no es aconsejable debida a su baja efectividad hidráulica y poca durabilidad. Por lo antes mencionado, las obras de captación que se consideran como alternativa de solución en el presente estudio son la: Toma Convencional y Toma de Rejilla de fondo.

Por otra parte, el uso de medidores de caudal en la Provincia ha sido muy limitado hasta la actualidad, sin embargo, se ha considerado importante realizar diseños para estas obras que permitan un eficiente control y distribución del recurso hídrico. Cabe mencionar que las obras de Medición de caudal a las que se centra el presente estudio, son las que según sus características y propiedades mejor se ajustan al rango de caudal representativo.

En definitiva, el presente trabajo de titulación pretende orientar técnicamente sobre el diseño de obras de captación y medición de caudal para riego, partiendo desde los conceptos básicos y criterios técnicos de diseño, hasta llegar al dimensionamiento de las obras empleando el rango de caudal representativo de la Provincia. Con el objeto de agilizar los cálculos hidráulicos, se complementa el diseño con la implementación de hojas de cálculo, en donde se refleja el procedimiento para el dimensionamiento de las obras en estudio.

## **1.2 EL PROBLEMA**

### **1.2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

En la actualidad en la Provincia del Cañar se encuentran funcionando 133 sistemas de riego, alrededor del 87% de los mismos no disponen todavía de un adecuado sistema de captación, además, no existe ningún tipo de regulación de caudales.

Las obras de captación, representan el punto de partida para el desarrollo de cualquier proyecto. Según datos del Departamento de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar, aproximadamente el 65% de los sistemas de riego de la Provincia captan el agua por medio de una Toma Rústica, que es una obra muy precaria, concebida sin ningún criterio técnico, lo que implica que no existe un control eficiente del caudal que se necesita realmente captar.

En los sistemas de riego, es de vital importancia que el recurso hídrico se utilice en forma eficiente, la ausencia de medidores en la Provincia ha provocado el uso desmedido del agua, inequidad en el reparto, déficit o exceso de caudal, afectando la producción de cultivos.

### **1.2.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

El presente trabajo de titulación es investigativo teórico y aplicativo, por lo que se basa en la información técnica disponible en fuentes bibliográficas para aplicar las bases de diseño hidráulico en las obras ya mencionadas.

De igual manera, es concebido bajo un enfoque netamente hidráulico y no incluye el resto de ingenierías involucradas en este tipo de obras para riego.

Por otra parte, el diseño hidráulico de las obras se centra únicamente en el rango de caudal representativo de la Provincia, el mismo que es establecido según los datos de caudales de los sistemas de riego existentes.

### **1.2.3 DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

La zona de estudio es la Provincia del Cañar, la misma que se ubica en la región Centro Sur del Ecuador, posee una superficie de 4106,76 km<sup>2</sup> y sus límites son:

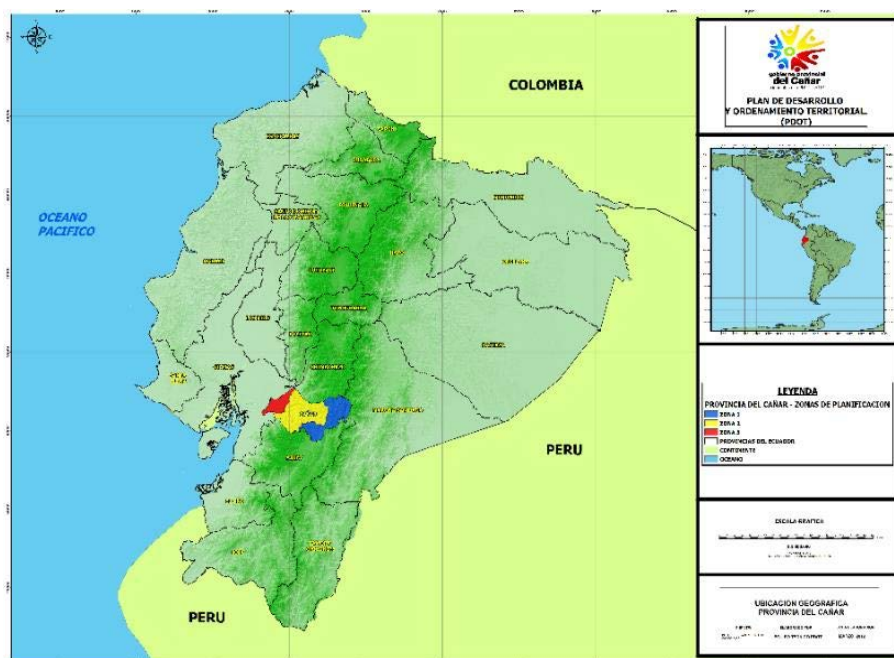
**Al Norte** limita con la Provincia de Chimborazo, avanzando de occidente a oriente desde los límites externos de la Parroquia Manuel de J. Calle, zona del Piedrero, siguiendo por los límites externos de las Parroquias Ventura, General Morales, Zhud, Juncal, finalmente con la

Parroquia Rivera, hasta enlazarse al límite con la Provincia de Morona Santiago.

**Al Sur** limita con la Provincia del Azuay, así mismo siguiendo de Occidente a Oriente, desde los límites externos de la Parroquia San Antonio, siguiendo los límites externos de las Parroquias Gualleturo, Jerusalén, Déleg, Solano, San Miguel de Porotos, Luis Cordero, Azogues, Taday, Pindilig, Rivera, hasta enlazarse al límite con la Provincia de Morona Santiago.

**Al Oriente** confina con la Provincia de Morona Santiago siguiendo una dirección suroeste-nor-este, desde el límite con la provincia del Azuay, siguiendo por los límites externos de la Parroquia Rivera hasta enlazarse al límite con la provincia de Chimborazo.

**Al Occidente** colinda con la Provincia del Guayas, partiendo de los límites con la provincia del Azuay, siguiendo por los límites externos de las Parroquias Pancho Negro, Manuel J. Calle, avanzando por los límites externos de la zona del Piedrero hasta confluir al límite con la provincia de Chimborazo. (Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Cañar, 2015)



*Figura 1.* Ubicación Provincia del Cañar

**Fuente:** Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Cañar (2015)

La Provincia del Cañar, está conformada por 7 cantones, divididos en 33 Parroquias, de las cuales 7 son urbanas y 26 rurales, para fines de estudio se ha dividido la Provincia en tres zonas, las mismas que se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1  
Zona de estudio de acuerdo a cantones y Parroquias

PROVINCIA	AREA PROVINCIA (km2)	ZONAS DE PLANIFICACIÓN	AREA ZONAS (km2)	CANTON	AREA CANTON (km2)	PARROQUIA	AREA PARROQUIAS (km2)
CAÑAR	4106.76	Zona 1	1533.33	AZOGUES	1216.98	JAVIER LOYOLA	28,05
						SAN MIGUEL	35,81
						COJITAMBO	15,29
						LUIS CORDERO	16,6
						AZOGUES	65,46
						TADAY	63,95
				BIBLIAN	237.54	GUAPAN	51,72
						RIVERA	831,07
						PINDILIG	109,03
						NAZON	87,57
						TURUPAMBA	4,74
						SAN FCO. DE SAGEO	8,32
		Zona 2	2005.09	CAÑAR	1894.47	BIBLIAN	73,42
						JERUSALEN	63,49
						SOLANO	16,76
						DELEG	62,05
						GUALLETURO	300,44
						CHOROCOYTE	35,16
						HONORATO VASQUEZ	88,27
						CAÑAR	78,17
						SAN ANTONIO	430,5
						INGAPIRCA	276,26
						DUCUR	89,59
		Zona 3	568.34	LA TRONCAL	317.27	ZHUD	89,98
						JUNCAL	104,73
						CHONTAMARCA	215,58
						VENTURA	67,48
						GENERAL MORALES	118,31
		EL TAMBO	64,93	EL TAMBO	64,93		
		SUSCAL	45,69	SUSCAL	45,69		
				PANCHO NEGRO	161,67		
				LA TRONCAL	119,85		
				MANUEL J. CALLE	35,75		
		EL PIEDRERO	251,07				

**Fuente:** Recuperado de “Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la Provincia del Cañar”  
Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Cañar (2015)

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

El Plan Nacional de Riego y Drenaje afirma:

Todavía la gran mayoría de sistemas comunitarios no tienen obras de captación y regulación de caudales, en caso de haberlas son muy rudimentarias. Generalmente, desde las quebradas o ríos salen los canales y después de cada crecida y/o escorrentía fuerte, los usuarios tienen que hacer los atajos para represar y desviar el agua; esto da lugar a que puedan captar el agua en forma desmedida. (Subsecretaria de Riego y Drenaje, 2011, p.52)

Por lo expuesto, se ha considerado importante hacer énfasis en este tipo de obras y aportar con diseños que permitan un control eficiente del recurso hídrico y más aún, tomando en cuenta que según el Plan Nacional de Riego y Drenaje (2011-2026), el riego es el uso que mayor volumen de agua demanda en el Ecuador, aproximadamente el 82%.

Si bien es cierto, existen diversa bibliografía donde se detalla el diseño hidráulico de las obras mencionadas, no obstante, se ha considerado importante contribuir con un documento que contenga los lineamientos y criterios de diseño y su aplicación a datos representativos de la Provincia, así como un procedimiento sistemático de diseño apoyado en hojas de cálculo para simplificar el proceso.

Además, éste trabajo de titulación pretende ser un apoyo para ingenieros, estudiantes y especialmente para el Departamento de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar, permitiendo de esta manera dinamizar el diseño de los proyectos de riego.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 GENERAL**

Elaborar un documento enfocado en el diseño hidráulico de obras de captación y medición para riego en la Provincia del Cañar, mediante el empleo de hojas de cálculo fundamentadas en criterios técnicos y en base a los caudales más representativos de la Provincia.

### **1.4.2 ESPECÍFICOS**

1. Identificar los principios teórico técnico sobre el diseño de captaciones y medidores de caudal y los parámetros que influyen en el diseño de las mismas.
2. Indicar la formulación para el cálculo hidráulico y dimensionamiento de las obras en estudio.
3. Realizar el diseño hidráulico de las obras en estudio, empleando el rango de caudal

representativo de la Provincia.

4. Generar hojas de cálculo en Excel para el diseño hidráulico de captaciones y medidores, que permitan agilizar los diseños y simplificar el cálculo de los mismos.

## **1.5 METODOLOGÍA**

El presente trabajo de titulación tiene un eje central, parte de conceptos generales como definiciones, hasta llegar a los diseños de las obras planteadas y su respectiva aplicación en hojas de cálculo. A continuación, se detalla la metodología propuesta:

1. Recolectar información de las obras de captación y medición de los sistemas de riego de la Provincia, así como de diversas fuentes bibliográficas sobre los temas a tratar.
2. Procesar la información proveniente del GAD Provincial del Cañar, realizando un análisis estadístico de frecuencias de todos los caudales aforados en los sistemas de riego para encontrar el rango de caudal representativo de la Provincia.
3. Realizar el diseño de las obras hidráulicas en estudio con los valores del rango de caudal representativo de la Provincia.
4. Desarrollar hojas de cálculo para el diseño hidráulico de captaciones y medidores de caudal.

## CAPITULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 INFRAESTRUCTURA DE UN SISTEMA DE RIEGO

De acuerdo a Torres Herrera (1987):

Un Sistema de Riego, comprende una gran cantidad de estructuras hidráulicas y de ingeniería civil cuya finalidad es la de obtener el agua necesaria, regularizarla, transportarla y distribuirla a los terrenos de cultivo (...) mediante una red eficiente y segura (p.277).

Según la función que desempeñan, las Obras Hidráulicas que componen un Sistema de Riego se clasifican en:

- Obras de Captación
- Obras de Conducción
- Obras de Protección
- Obras de Regulación
- Obras de Distribución

Para fines del presente estudio, se define a continuación las Obras de Captación y de Medición de Caudal.

##### 2.1.1 OBRAS DE CAPTACIÓN

###### 2.1.1.1 Definición

“Es una estructura hidráulica, denominada también bocatoma, cuya finalidad es derivar el agua de la fuente de abastecimiento a un canal, para conducirlo a los campos de cultivo e irrigar una determinada área” (García Trisolini, 2008, p. 108).

El primer punto de flujo de un sistema de riego está en la fuente, donde el agua se recolecta en

una bocatoma. Para el éxito de un proyecto de irrigación, es fundamental que la obra de captación sea bien concebida. Pizano (2002) afirma:

La obra de toma es la estructura hidráulica de mayor importancia de un sistema de aducción, que alimentará un sistema de generación de energía hidroeléctrica, riego, agua potable, etc. A partir de la obra de toma, se tomarán decisiones respecto a la disposición de los demás componentes de la Obra (párr. 1).

### **2.1.1.2 Clasificación de las Obras de Captación**

La Clasificación de las Captaciones puede ser variable y basarse en varios aspectos, sin embargo, básicamente se dividen en: Obras de toma con almacenamiento y Obras de toma por derivación directa.

#### **2.1.1.2.1 *Obras de toma con almacenamiento***

Consisten en presas que cierran el cauce del río, formando un embalse, el mismo que permite regular la utilización del caudal del río, almacenando el agua en las épocas de crecientes y utilizándola en las épocas de sequía; generalmente estas obras no se usan en sistemas de riego debido a su gran costo (Krochin, 1986).

Por lo antes expuesto, las obras de toma mediante almacenamiento no forman parte de este estudio.

#### **2.1.1.2.2 *Obras de toma por derivación directa***

Captan el agua de la fuente de abastecimiento aprovechando el caudal que hay en un determinado momento, es decir, sin ninguna regulación o almacenamiento (Krochin, 1986).

Las tomas por derivación directa más comunes y a las que se centra este estudio, son de 3 tipos:

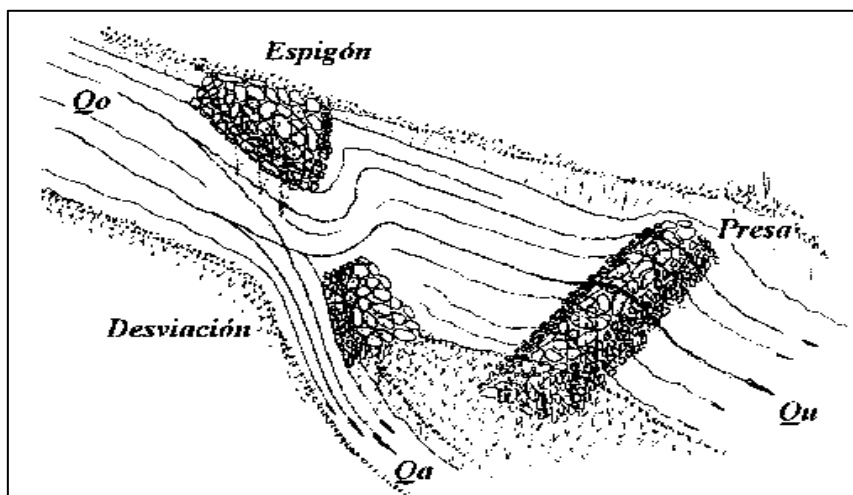
- Toma Directa o Rústica
- Toma Convencional

- Toma de Fondo

### 2.1.1.2.2.1 Toma Rústica

Esta forma de toma, es de las más antiguas y cuyo concepto aún se mantiene en vigencia como alternativa primaria para el riego de parcelas aledañas a ríos o quebradas. Olazával, Noordholland de Jong y Alvear (1999) la definen así:

Las obras de derivación más rudimentarias, consisten simplemente en zanjas realizadas en las orillas de los ríos, en donde, para mejorar su eficiencia de captación, se desvía el flujo del río hacia el canal de aducción colocando espigones alineados en función a las condiciones locales del curso del río, tarea que se puede realizar por simple acumulación de piedras o mediante un estacado (p.77).



*Figura 2.* Bocatoma Rústica

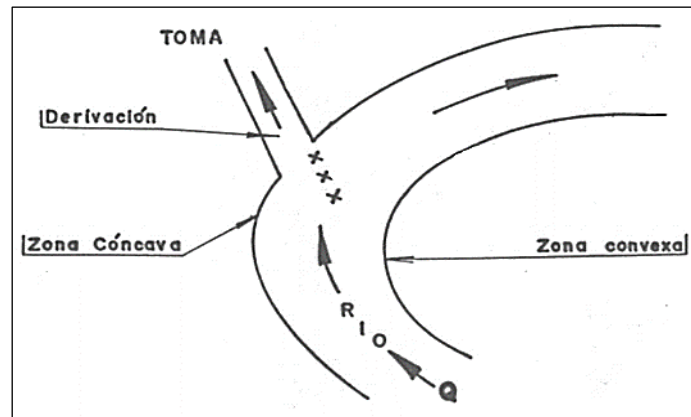
**Fuente:** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Ortiz Flórez (2011)

Existen dos variantes en este tipo de bocatoma:

**Bocatoma directa frontal:** “Se ubica la captación en tramos curvos del río, en la parte cóncava, lo que permitirá una mejor captación por efecto de la aceleración del movimiento, el cual tiene una captación normal a la dirección del flujo” (Olazával et al., 1999, p.78).

Como se indica en la Figura 3, la ubicación de la toma es más favorable aguas abajo del centro

o vértice de la parte cóncava de la curva.

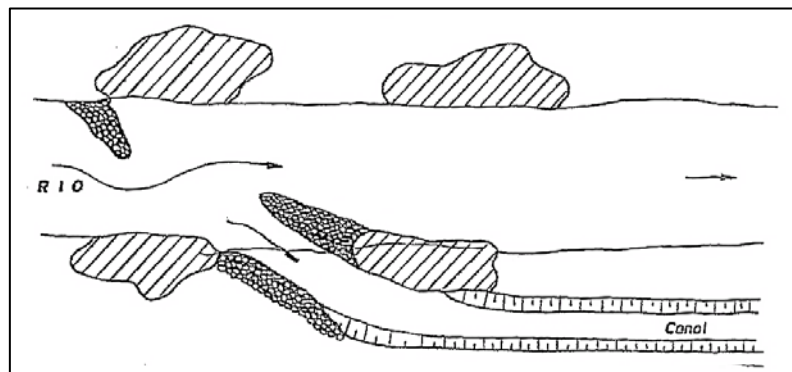


**Figura 3.** Bocatoma Directa Frontal

**Fuente:** Infraestructura de Riego: Elementos Técnicos y Sociales. Olazával et al. (1999)

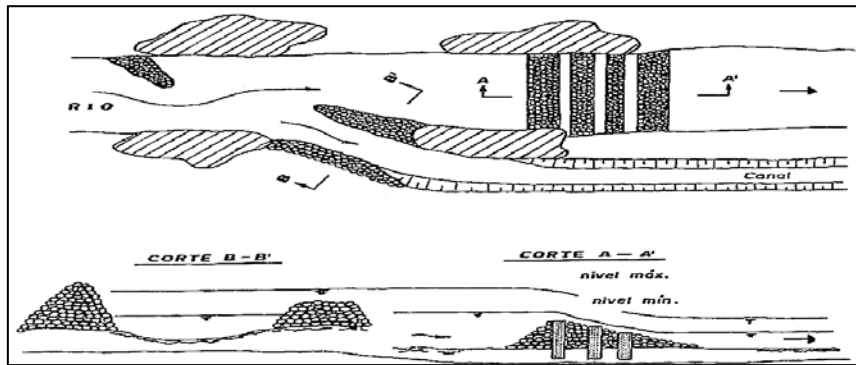
**Bocatoma directa lateral:** “Se realiza en tramos rectos del río, tiene una captación en el margen lateral del río, se desvía el agua del río hacia el canal de aducción, colocando espigones de acuerdo a las condiciones locales del curso del río” (Olazával et al., 1999, p.78).

Este tipo de captación puede ser construida con o sin barraje; la toma sin barraje es conveniente para la captación de caudales pequeños con relación a el caudal del río.



**Figura 4.** Toma lateral mediante espigones sin barraje

**Fuente:** Infraestructura de Riego: Elementos Técnicos y Sociales. Olazával et al. (1999)



**Figura 5.** Toma lateral mediante espigones con barraje

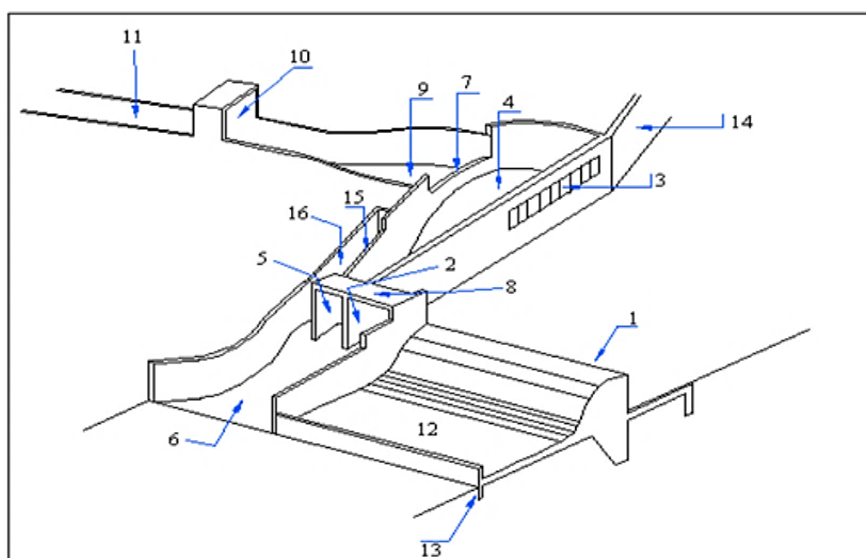
**Fuente:** Infraestructura de Riego: Elementos Técnicos y Sociales. Olazával et al. (1999)

### 2.1.1.2.2 Toma Convencional

Esta toma realiza la captación de las aguas a través de una rejilla paralela al flujo, la misma que funciona como un orificio o vertedero lateral según el nivel de agua o carga hidráulica. El nivel de agua es regulado por medio de un azud que cierra el cauce del río y cuya función es garantizar la captación de un caudal mínimo en épocas de estiaje y permitir el tránsito del agua excedente generada en crecidas. (Krochin, 1986)

### Partes constitutivas de una Toma Convencional

En la figura 6 se indica los componentes de una Toma Convencional y se detalla a continuación la descripción y función que desempeña cada una de las partes.



**Figura 6.** Partes de una Captación Convencional

**Fuente:** Basado en: Diseño Hidráulico. Krochin( 1986)

1. **Azud de derivación.** - Es un dique que cierra el cauce del río, obligando a que el agua que se encuentra bajo la cota de su cresta ingrese al sistema de captación y posteriormente sea llevado a la conducción; durante las crecidas del río, el excedente de agua pasa por encima de este dique, que funciona como vertedero (Luzuriaga , 2005).
2. **Compuerta de limpia o purga.** - Se ubica en un extremo del azud, junto a la reja de entrada. El material acumulado aguas arriba del azud durante las crecidas del río puede ocasionar su ingreso al sistema; la función de esta obra es eliminar este material de arrastre sedimentado (Luzuriaga , 2005).
3. **Reja de entrada.** - Es la encargada de impedir el ingreso hacia el desripiador de material sólido flotante demasiado grueso y para ello se colocan barrotes los cuales tienen un determinado espesor para que no sufran deformación por impacto del material flotante y una separación adecuada (Luzuriaga , 2005).
4. **Desripiador.** – “Es una cámara que recoge el material sólido que ha logrado pasar a través de la rejilla” (Luzuriaga , 2005).
5. **Compuerta del desripiador.** – “Es usada durante las operaciones de mantenimiento. A través de ésta circula el material que se encuentra depositado en el desripiador y es conducida hacia el río” (Luzuriaga , 2005).
6. **Canal de desfogue.** – “Se encuentra a continuación de la compuerta del desripiador y de la compuerta de purga. Este canal tiene una gradiente suficiente para conseguir una velocidad de lavado alta, capaz de arrastrar piedras” (Luzuriaga , 2005).
7. **Vertedero del desripiador.** – “Es una obra la cual ocasiona que el material que llega al desripiador no pase al canal y se deposite dentro de éste” (Luzuriaga , 2005).
8. **Losa de operación de las compuertas.** – “Generalmente las compuertas son operadas manualmente, razón por la cual es necesaria un área para poder operarlas adecuadamente” (Luzuriaga , 2005).

- 9. Transición.** – “Es una obra que sirve de enlace entre dos secciones diferentes de conducciones, procurando reducir las pérdidas de carga; se encuentra ubicada entre el vertedero del desripador y la conducción” (Luzuriaga , 2005).
- 10. Compuerta de admisión.** – “Se ubica al final de la transición e inicio de la conducción con el objetivo de regular o interrumpir totalmente el flujo de agua sea con fines de reparación o inspección de las obras ubicadas después de ésta” (Luzuriaga , 2005).
- 11. Canal de conducción.** – “Es una estructura hidráulica de forma regular artificialmente construida, que con ayuda de su pendiente puede conducir agua de un lugar a otro” (Luzuriaga , 2005).
- 12. Cuenco disipador o Zampeado.** - Se localiza a continuación del azud. Sirve para disipar la energía ocasionada por el desnivel, de manera que el agua pase al cauce no revestido con velocidades lo suficientemente bajas para no producir erosiones el fondo del cauce o en sus orillas (Luzuriaga , 2005).
- 13. Dentellones.** – “Se construyen aguas arriba y debajo del zampeado, con el propósito de dar un mayor anclaje a la estructura y para reducir los efectos del agua que se filtra por debajo del azud alargando el camino de la filtración” (Luzuriaga , 2005).
- 14. Muros de encauzamiento.** – “Su función es encauzar el agua hacia la obra de captación. Además, tienen la función de proteger las orillas del río para evitar la erosión” (Luzuriaga , 2005).
- 15. Vertederos o aliviaderos.** – “Estas estructuras facilitan la evacuación de caudales de agua excedentes o superiores a los que se desean captar, los cuales se producen durante las crecientes” (Luzuriaga , 2005).
- 16. Canal de evacuación.** - La finalidad de este canal es evacuar el excedente de agua que es desalojado por los vertederos o aliviaderos el cual se origina como consecuencia de crecidas del río y ocasionan que ingrese una mayor cantidad de agua a través de la Reja

de Entrada (Luzuriaga , 2005).

**17. Escala de peces.** - Los pasos para los peces son pequeños depósitos escalonados que se construyen a un lado del azud. El agua baja de un escalón a otro con poca velocidad a través de escotaduras que sirven al mismo tiempo para que por ellas puedan saltar los peces (Krochin, 1986).

#### **2.1.1.2.2.3 Toma de Fondo**

De acuerdo a PRONAR (2010):

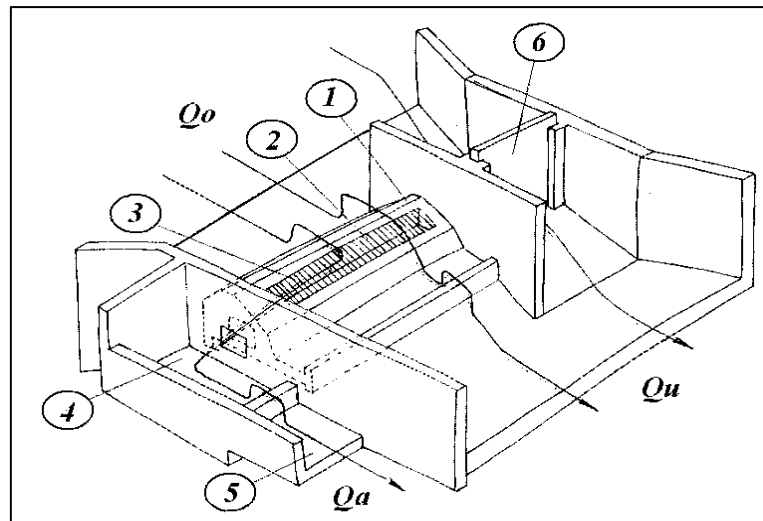
Una toma tirolesa, llamada también toma de fondo, consiste en un canal construido transversalmente en el lecho del río del que se captará el agua. En la parte superior, se encuentra cubierta por una rejilla ubicada con cierta inclinación en la dirección del flujo, por la cual ingresa el agua que se desea captar (p.44).

Los ríos en los cuales se encuentran emplazadas presentan las siguientes características:

- Pendientes longitudinales grandes las cuales oscilan entre el 10% o más con la finalidad de reducir el ingreso de sedimentos hacia la galería y permita evacuar los mismos.
- Presentar alineaciones preferentemente rectas en el curso del río de manera que el paso del agua sea uniforme por la rejilla.
- Crecientes inesperadas causadas por aguaceros de corta duración, los cuales acarrearán gran cantidad de sedimentos entre los cuales se incluyen cantos rodados.
- En época de estiaje el contenido de agua es escaso razón por la cual presenta menor contenido de sedimentos (Luzuriaga, 2005, p.132).

## Partes constitutivas de una Toma con Rejilla de Fondo

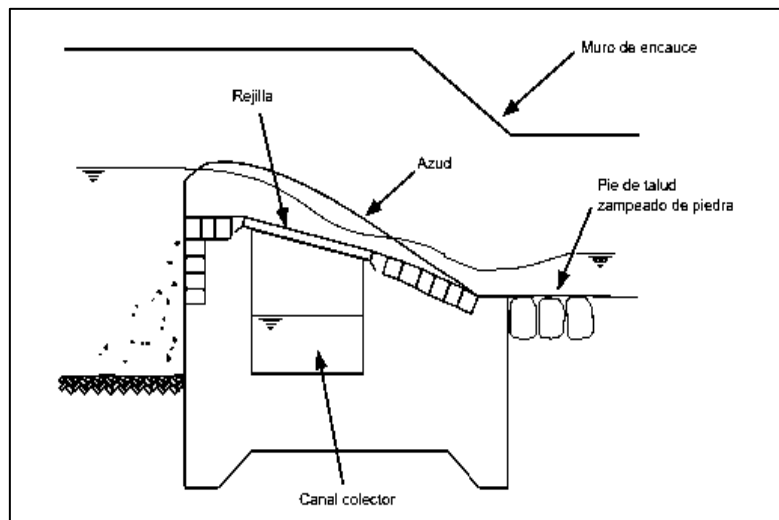
En la figura 7 se indica los componentes de una Toma de Fondo. Para una mejor comprensión, en las figuras 8 y 9, se detalla la Vista en planta y en Perfil respectivamente.



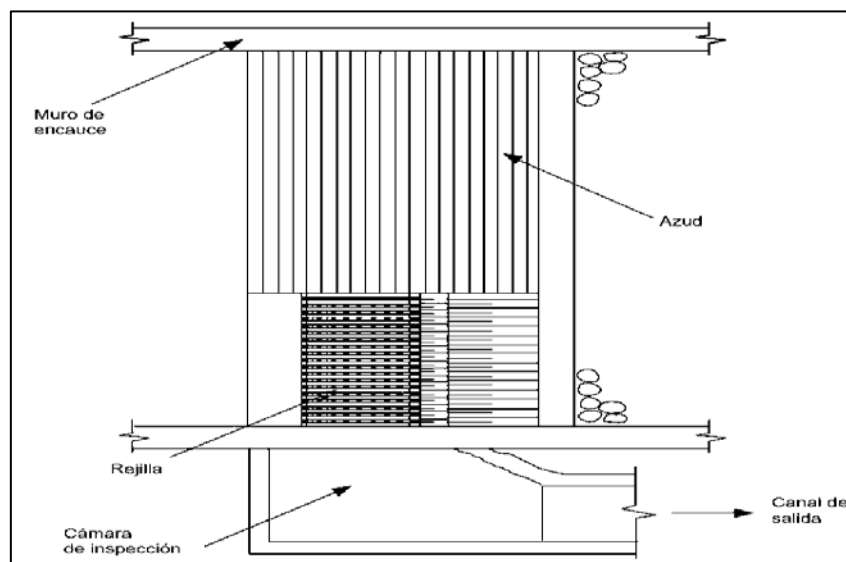
**Figura 7.** Partes de una Toma con Rejilla de Fondo  
**Fuente:** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Ortiz Flórez (2011)

1. **Azud.** – Es una estructura que se extiende a lo ancho del cauce y cuyo objetivo es garantizar la evacuación adecuada del caudal en crecidas, para evitar daños en la estructura.
2. **Canal Colector o Galería.** - La galería tiene como objetivo conducir el flujo captado. La parte sin rejilla está tapada con una losa de hormigón armado y que en su parte superior sigue el mismo perfil que el azud macizo.
3. **Rejilla.** - . La función de las barras de la rejilla es impedir el ingreso de material sólido de arrastre a la galería. La rejilla no necesariamente debe ser del ancho del azud (ancho del río), sino que su dimensión depende del caudal a ser captado.
4. **Caja Auxiliar.** – Esta estructura tiene como principal objetivo decantar el material sólido en suspensión que ha ingresado a través de la rejilla.
5. **Canal de Salida.** – Su función es conducir el caudal captado hacia el área de riego.
6. **Compuerta de limpia.** – Sirve para realizar una limpieza periódica de la bocatoma y

evitar que se llene de sedimentos. (Ortiz Flórez, 2011)



**Figura 8.** Vista de perfil de una Toma con Rejilla de Fondo  
**Fuente:** Tomas Tirolesas. PRONAR (2010)



**Figura 9.** Vista en planta de una Toma con Rejilla de Fondo  
**Fuente:** Tomas Tirolesas. PRONAR (2010)

## 2.1.2 MEDIDORES DE CAUDAL

### 2.1.2.1 Generalidades

La determinación de la cantidad de agua que lleva un curso de agua o un canal se conoce como Aforo. La medición de caudales es considerada la base para el manejo eficiente del agua en un distrito de riego. Olazával et al. (1999) afirman: “En los sistemas de riego, la creciente demanda

sobre el recurso hídrico disponible, así como el constante aumento en el costo de los proyectos de riego, exigen que el agua se utilice en forma económica, sin desperdiciarla” (p.101).

El recurso hídrico se conduce desde las fuentes de abastecimiento hasta las parcelas, por medio de una red de conducción y distribución, procurando que el agua llegue a los sectores de riego en el momento oportuno y con la cantidad necesaria. Esto es posible únicamente con el uso adecuado de medidores situados en puntos estratégicos de la red de riego.

En general, las funciones de los medidores de caudal son:

- Determinar las cantidades de agua suministrada a los usuarios de un sistema de riego.
- Facilitar un control social sobre la distribución y los derechos del agua.
- Determinar la eficiencia de uso y de manejo del agua de riego.
- Estimar y averiguar el origen de las pérdidas (Olazábal et al.,1999, p.101).

### **2.1.2.2 Tipos de Medidores de Caudal**

Existen diversos métodos para aforar caudales, sin embargo, según Briones Sánchez y García Casillas (1997) se les puede clasificar generalmente en tres grandes grupos:

- Métodos Directos
- Métodos en función del Área y Velocidad
- Estructuras de Medición

#### **2.1.2.2.1 Métodos Directos**

Expresan el caudal como una función de volumen sobre tiempo ( $Q = V / t$ ). Los más usados son el Aforo Volumétrico y Aforo Gravimétrico.

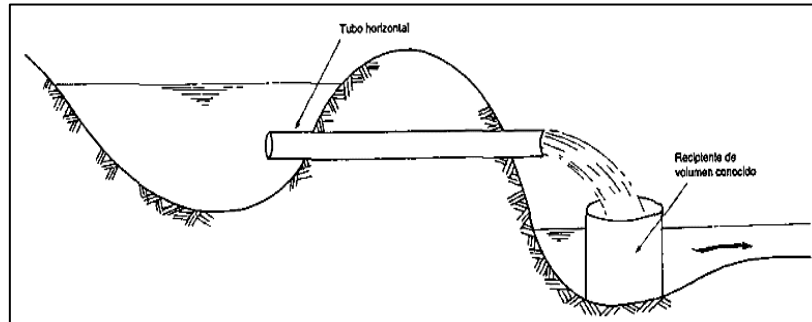
##### **2.1.2.2.1.1 Aforo Volumétrico**

“Es aplicable en la medición de pequeños caudales y se realiza midiendo el tiempo de llenado ( $t$ ) de un recipiente de volumen conocido ( $V$ ), donde se colecta la descarga” (Briones Sánchez

y García Casillas, 1997, p.15).

El caudal se determina con la ecuación:

$$Q = V/t$$

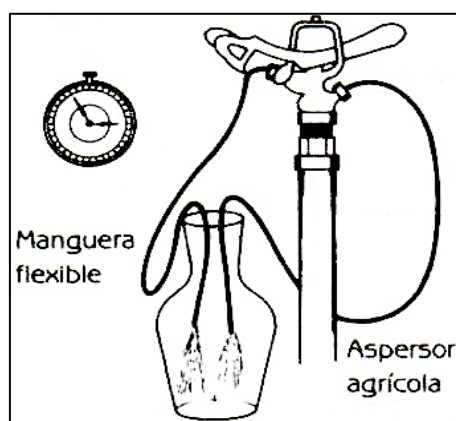


**Figura 10.** Aforo Volumétrico

**Fuente:** Manual de Aforos. Kennedy , Fragoza, Peña y Moreno (1992)

“Este método sencillo requiere poco equipo y es muy preciso. Se utiliza para medir gastos pequeños, de hasta 3 l/s, pudiendo emplearse para gastos mayores, siempre que se disponga del lugar y depósito apropiado” (Kennedy , Fragoza, Peña y Moreno, 1992, p.108).

Además, es muy utilizado en la medición del gasto en el riego por surcos y en las boquillas a la salida de los sistemas de riego por aspersión, así como en la calibración de aspersores y microaspersores.



**Figura 11.** Medición de Caudal en un Aspersor

**Fuente:** Aforo del Agua en Canales y Tuberías. Briones Sánchez y García Casillas (1997)

### 2.1.2.2.1.2 Aforo Gravimétrico

Es un método muy similar al Volumétrico, pero el volumen de agua que se recolecta en un cierto intervalo de tiempo cronometrado, en lugar de medirse se pesa. (Briones Sánchez & García Casillas, 1997)

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Donde:

$\gamma$ = Peso Específico del Agua

W= Peso del Agua; W= (Peso del Agua + peso del Recipiente) –Peso del Recipiente

V= Volumen Ocupado

El caudal esta dado por la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q= Caudal

t= Tiempo de llenado

Despejando “V” de la ecuación y remplazando en la ecuación, tenemos:

$$Q = \frac{W}{\gamma \cdot t}$$

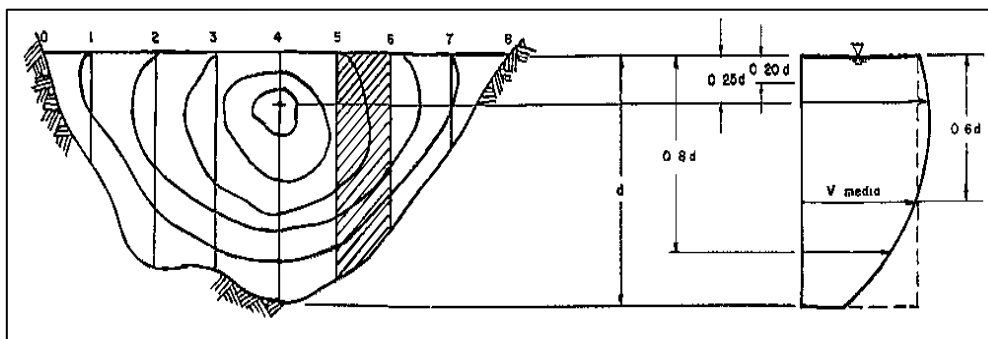
### 2.1.2.2.2 Métodos en función del Área y Velocidad

“Consiste en determinar el área de una sección transversal de la corriente y la velocidad del agua a través de ésta; la primera por medio de sondeos y la velocidad por cualquiera de los métodos que se describen posteriormente” (Kennedy et al., 1992, p.3).

## Velocidad media para la Medición de Caudal

Es importante medir la velocidad del caudal en puntos de la sección transversal donde la velocidad promedio ocurra con mayor probabilidad. Para que esto suceda, se presentan algunas recomendaciones a continuación:

- La velocidad máxima se presenta entre el 5% y el 25% de la profundidad del agua en el canal y el porcentaje aumenta con incrementos en la profundidad del canal.
- La velocidad media en una vertical de un canal se presenta a 0.6 de la profundidad.
- La velocidad media en una vertical, es la media aritmética de las velocidades a 0.2 y 0.8 de la profundidad, respectivamente.
- La curva de variación vertical de la velocidad se aproxima a una parábola de eje vertical, es decir, aumenta de la superficie del agua hacia abajo, hasta llegar al punto de velocidad máxima y a partir de éste comienza a disminuir (Kennedy et al., 1992).



**Figura 12.** Variación de la Velocidad en una Corriente  
**Fuente:** Manual de Aforos. Kennedy , Fragoza, Peña y Moreno (1992)

## Área de la Sección Transversal de la Corriente

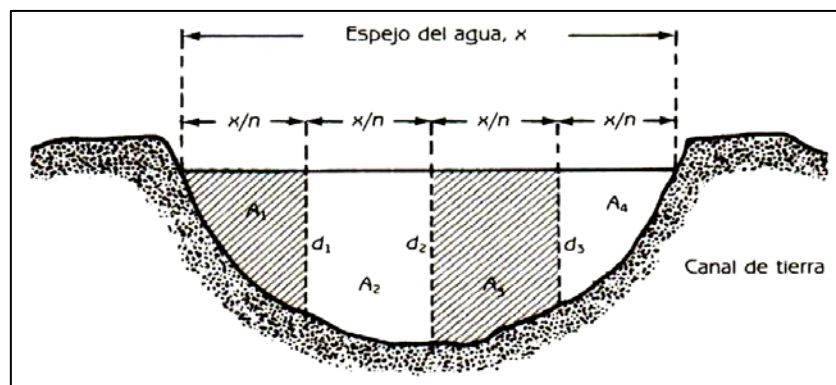
En el caso de canales revestidos, su sección se encuentra bien definida, por este motivo, la determinación del área hidráulica es sencilla. Así, la sección transversal está limitada en la parte superior por la superficie del agua y en los lados y el fondo por el revestimiento del canal.

Generalmente, en los sistemas de riego, existe canales de tierra, sin revestimiento, por lo que su sección transversal no es uniforme, dificultando su cálculo. Por lo tanto, según Briones

Sánchez y García Casillas (1997):

La determinación del área debe hacerse debe hacerse dividiendo el espejo de agua en varios segmentos iguales, de tal forma que se tenga una serie de figuras geométricas consistente en triángulos y trapecios, cuyos lados estarán dados por las profundidades ( $d_i$ ) del agua y las alturas, por la longitud del segmento ( $x/n$ ) (p.30).

La suma de las Áreas parciales dará como resultado el Área total transversal a usarse para el cálculo del caudal. En la figura 13 se observa el procedimiento antes mencionado.



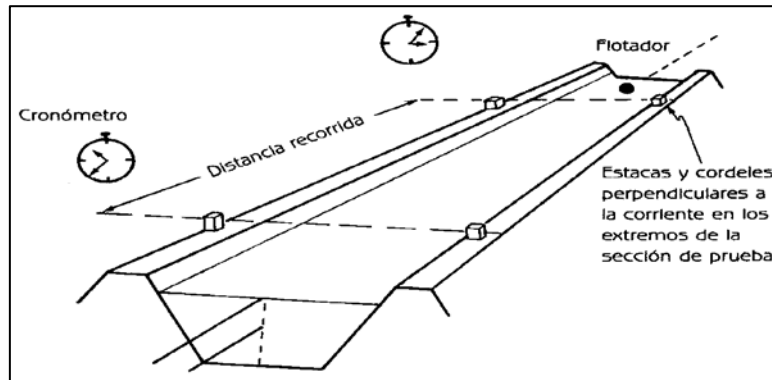
**Figura 13.** Sección Transversal Irregular de una Corriente

**Fuente:** Aforo del Agua en Canales y Tuberías. Briones Sánchez y García Casillas (1997)

#### 2.1.2.2.1 Aforo con Flotador

Este método es usado para medir la velocidad de la corriente, mas no el caudal directamente. “Los flotadores son cuerpos u objetos más ligeros que el agua y que conducidos en suspensión por la corriente, adquieren una velocidad similar a la superficial. Pueden ser: un trozo de madera, una pelota de esponja, etc.” (Kennedy et al., 1992, p.16).

Los flotadores miden la velocidad superficial del agua y se utilizan en el aforo de surcos, acequias, canales, ríos y diques. Durante la medición, se registra el tiempo que tarda un pequeño flotador en recorrer una distancia conocida (usualmente de 10 m), marcada previamente sobre un tramo recto y uniforme.



**Figura 14.** Medición de la Velocidad Superficial de la Corriente con un flotador  
**Fuente:** Aforo del Agua en Canales y Tuberías. Briones Sánchez y García Casillas (1997)

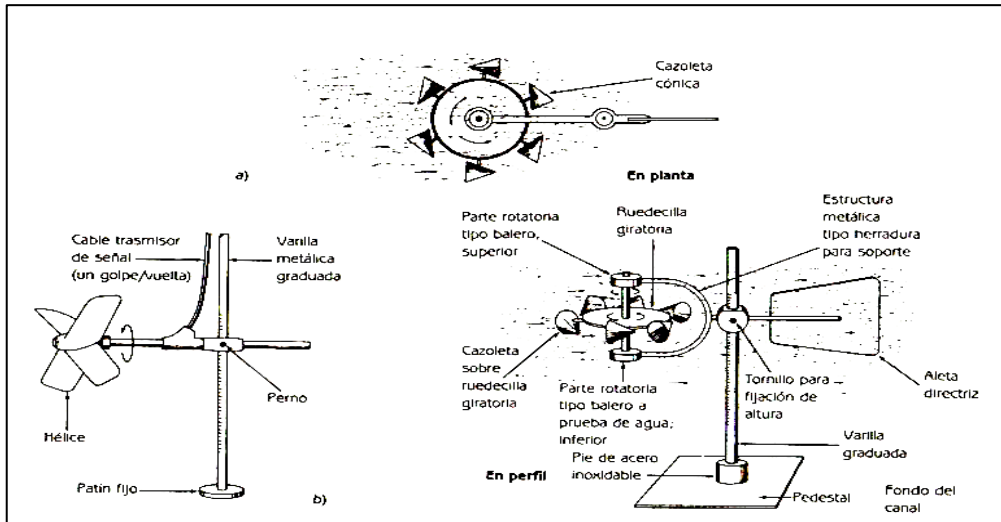
El flotador es soltado repetidas veces unos cuantos metros aguas arriba de la sección de prueba, cronometrando el tiempo de recorrido, para obtener un promedio. Luego, la velocidad superficial se determina dividiendo la distancia recorrida entre el tiempo promedio de viaje del flotador.

Como la velocidad superficial es mayor que la velocidad promedio del caudal, es necesario corregir la medición del flotador multiplicándola por un coeficiente que varía de 0.65 a 0.80; misma que debe ser de 0.65 para pequeños caudales (acequias) y de 0.80 para grandes caudales (ríos, diques y canales) (Briones Sánchez & García Casillas, 1997).

#### **2.1.2.2.2 Aforo con Molinete**

“Un molinete es un pequeño instrumento constituido por una ruedecilla con aspas, la cual, al ser sumergida en una corriente gira proporcionalmente a la velocidad de la misma” (Briones Sánchez & García Casillas, 1997, p.32)

En la figura 15, se observan dos tipos de molinetes: el de cazoletas y el de hélice, los mismos que son colocados sobre una varilla en el caso de aforo de corrientes superficiales, y suspendidos de un cable para el aforo de ríos y diques profundos.



**Figura 15.** Tipos de Molinetes usados en el aforo de corrientes

**Fuente:** Aforo del Agua en Canales y Tuberías. Briones Sánchez y García Casillas (1997)

Cada molinete viene calibrado de fábrica y de acuerdo a la figura 16, se relaciona la velocidad angular de la rueda giratoria con la velocidad de la corriente, es decir, el número de revoluciones por intervalo de tiempo se transforma a velocidad según el modelo del molinete.

Modelo de molinete	Ecuación de calibración
Molinetes de cazoletas:	
Gurley-622	$v = 0.690904 \text{ rps} + 0.014694$
SIW-017	$v = 0.658 \text{ rps} + 0.0090$
Price-622	$v = 0.6735 \text{ rps} + 0.0091$
Molinete tipo hélice:	
Medidor Hoff	$v = 0.296 \text{ rps}$

**Figura 16.** Ecuación para hallar la velocidad según el modelo del molinete

**Fuente:** Aforo del Agua en Canales y Tuberías. Briones Sánchez y García Casillas (1997)

### 2.1.2.2.3 Estructuras de Medición de Caudal

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, es evidente que existen gran cantidad de métodos para realizar la medición de caudales, sin embargo, los sistemas más eficientes y exactos son aquellos que utilizan Estructuras hidráulicas para realizar el aforo.

Las estructuras más usadas para la medición de caudales en riego son los Vertederos y

Aforadores de Régimen Crítico.

#### **2.1.2.2.3.1 Vertederos**

Los Vertederos son estructuras que se instalan en los canales o acequias en forma perpendicular a la corriente, de manera que toda el agua pase por la abertura del vertedero forme un salto al caer, la altura de agua tomada aguas arriba del vertedero nos permitirá determinar el caudal que circula por el cauce o canal de riego.

Existen vertederos de cresta delgada o aguda y de cresta ancha, cada uno con su respectivo funcionamiento hidráulico y condiciones de uso.

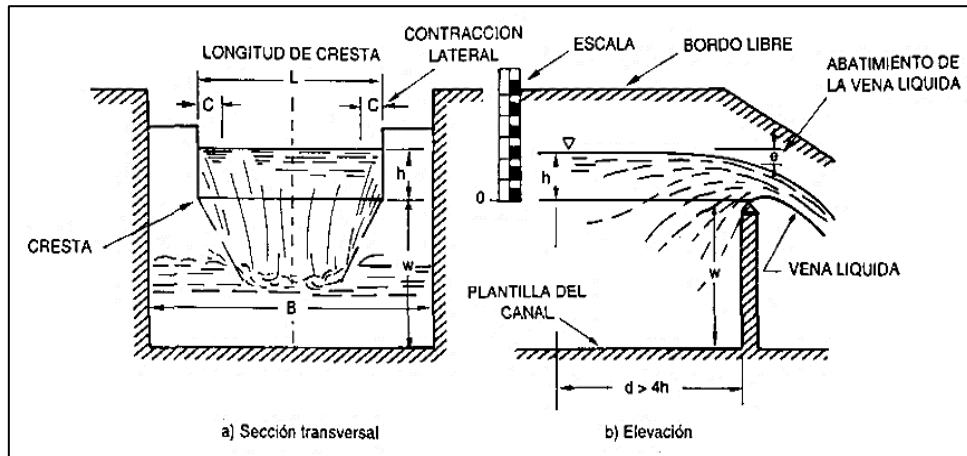
El vertedero de cresta aguda tiene un borde afilado en la cara corriente arriba, con una forma tal que el agua al pasar sólo toca la línea, mientras que el vertedero de cresta ancha, tiene, ya sea un borde redondeado corriente arriba, o una cresta tan ancha que el agua, al pasar entra en contacto con una superficie (Briones Sánchez & García Casillas, 1997, p.63).

Los vertederos de pared gruesa son usados para control de nivel de agua mas no como estaciones de aforo.

En la práctica, para la medida del agua de riego se usan los vertederos de pared delgada con contracción completa y con descarga libre. “Cuando los lados y el fondo del canal están lo suficientemente lejos de la cresta del vertedor se dice que se tiene un vertedor con contracciones completas” (Mojarro y Robles Rubio, 2007, p.226).

#### **Partes de un Vertedero de Aforo**

El borde sobre el cual se vierte el agua se denomina cresta del vertedero. La lámina de agua que fluye por encima de la cresta se llama vena líquida y la altura de agua que produce el derrame es la carga. (Briones Sánchez y García Casillas, 1997)



**Figura 17.** Partes de un Vertedero para Medición de Caudal

**Fuente:** Manual de Aforos. Kennedy, Fragoza, Peña y Moreno (1992)

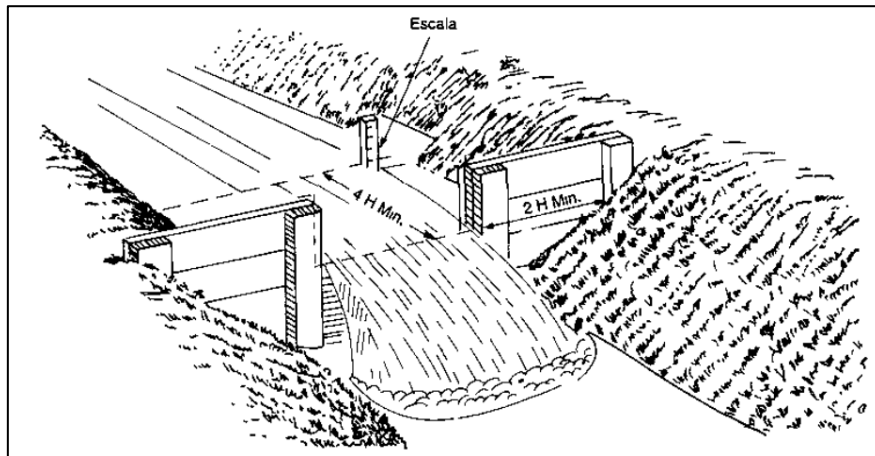
### Clasificación de los Vertederos

De acuerdo a la forma de la escotadura o cresta, los vertederos pueden ser: rectangulares, triangulares, trapezoidales, circulares y parabólicos, siendo los tres primeros los más usados para medición de caudal.

#### 2.1.2.2.3.1.1 Vertedero Rectangular

Estos vertederos son las estructuras más usuales para el aforo de canales y la precisión con que se obtiene el gasto, se considera que es buena para fines prácticos.

Para aforar con estos vertederos es necesario conocer: la longitud de la cresta ( $L$ ) y la carga hidráulica sobre la cresta del vertedor ( $h$ ); para determinar dicha carga, generalmente se mide con una escala graduada aguas arriba del vertedor a una distancia ( $d$ ) que puede variar desde 4 hasta 10 veces la carga. El cero de la escala debe quedar al nivel de la cresta del vertedor para evitar que la medición en ésta se vea afectada por el abatimiento ( $e$ ) de la vena líquida del agua sobre la cresta (Kennedy et al., 1992, p.35).



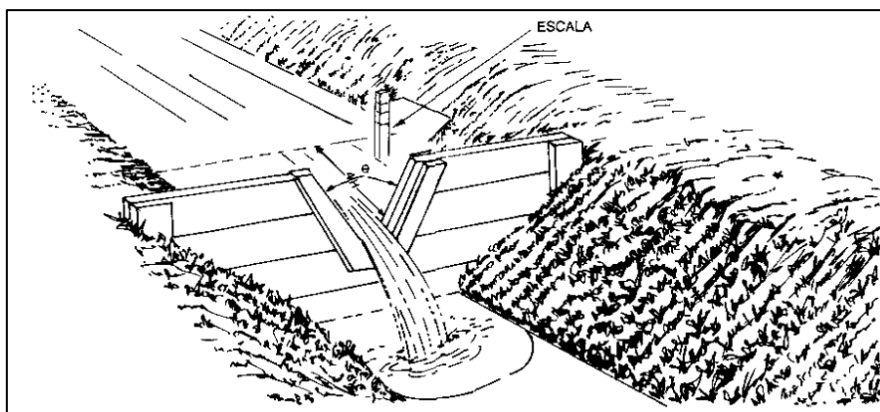
**Figura 18.** Vertedero Rectangular con escala graduada

**Fuente:** Manual de Aforos. Kennedy, Fragoza, Peña y Moreno (1992)

#### 2.1.2.2.3.1.2 Vertedero Triangular

Los vertederos triangulares son apropiados para medir gastos pequeños. En concordancia con Briones Sánchez y García Casillas (1997) son apropiados para el aforo de gastos menores, hasta los 300 lts/s.

“Estos vertederos son fáciles de construir. En éstos se toma en cuenta solamente la carga hidráulica ( $h$ ) y el ángulo de abertura del vertedor; por razones prácticas puede ser de  $60^\circ$  o  $90^\circ$ ” (Kennedy et al., 1992, p.48).



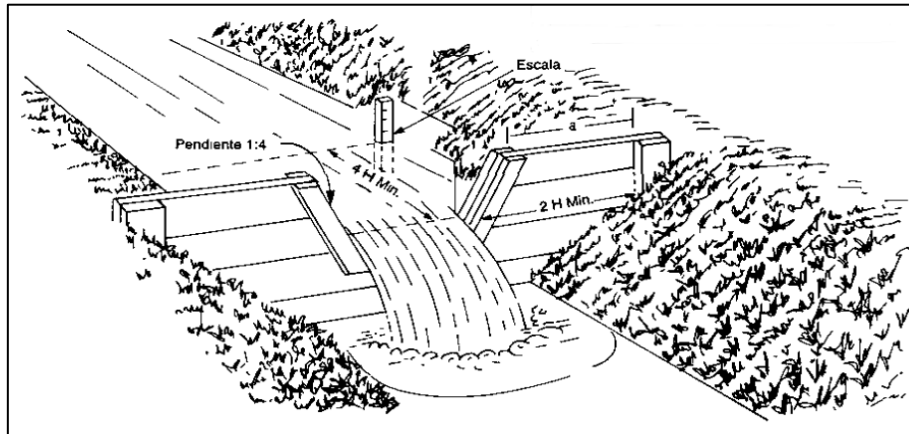
**Figura 19.** Vertedero Triangular

**Fuente:** Manual de Aforos. Kennedy, Fragoza, Peña y Moreno (1992)

#### 2.1.2.2.3.1.3 Vertedero Trapezoidal

La descarga en un vertedero trapezoidal es igual a la suma de los gastos dados por un vertedero

rectangular y uno triangular. “Este vertedor fue desarrollado por Cipolletti al tratar de compensar las contracciones laterales con una ampliación progresiva del nivel de la vena líquida; consiste en una sección transversal trapezoidal de talud 1 horizontal a 4 vertical” (Kennedy et al., 1992, p.44).



*Figura 20.* Vertedero Trapezoidal Cipolletti

**Fuente:** Manual de Aforos. Kennedy, Fragoza, Peña y Moreno (1992)

#### 2.1.2.2.3.2 Aforadores de Régimen Crítico

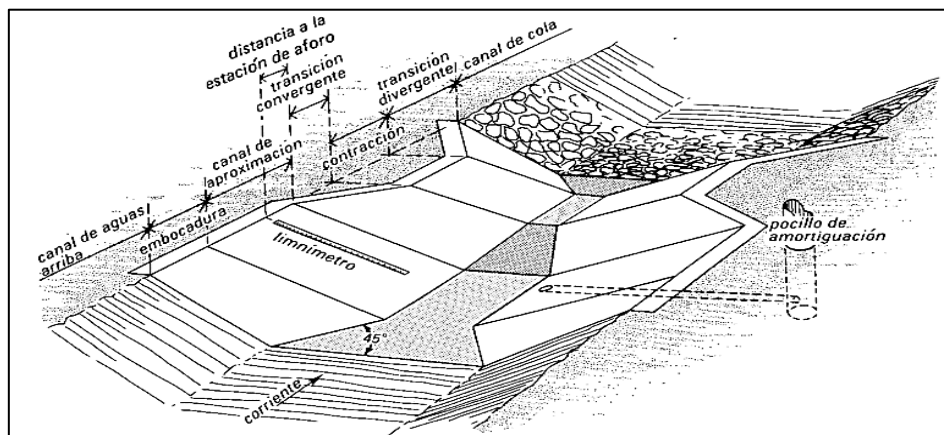
En concordancia con Kennedy et al. (1992):

Un aforador a régimen crítico consiste esencialmente de una contracción lateral en un canal a superficie libre. La contracción se forma por una elevación de la plantilla y el estrechamiento de la sección transversal. Entre las ventajas de este tipo de estructura, está la de transportar material en suspensión o flotación sin causar ningún efecto adverso en su funcionamiento... (p.74).

Como su nombre lo indica, se diseñan haciendo uso de los principios hidráulicos del flujo crítico, el mismo que se produce por la contracción antes mencionada. De esta forma, y de acuerdo con la teoría de flujo crítico, existe una relación única entre el nivel de agua medido aguas arriba de la garganta del aforador y el gasto que fluye.

### 2.1.2.2.3.2.1 Aforador de Garganta Larga

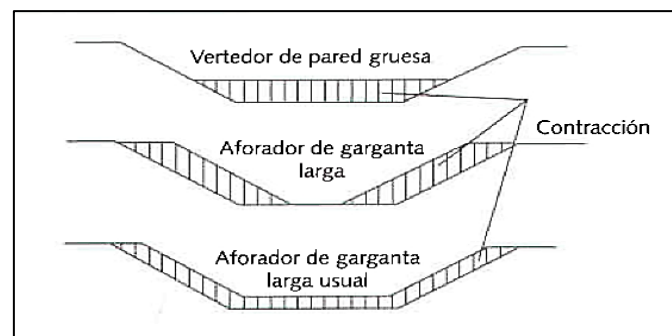
“El aforador de garganta larga es básicamente una contracción construida dentro de un canal, donde se dan las condiciones hidráulicas para que se presente el flujo crítico que se encuentra en la garganta” (Kennedy et al., 1992, p.76).



**Figura 21.** Esquema General de un Aforador de Garganta Larga

**Fuente:** Aforadores de caudal para canales abiertos. Bos, Replogle y Clemmens (1986)

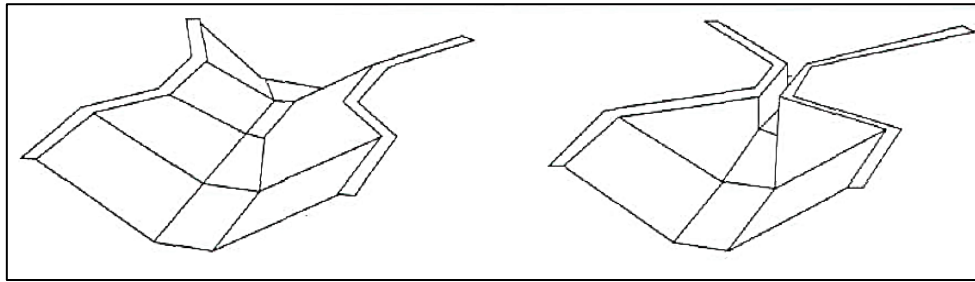
La contracción puede ser en el fondo, en las paredes o en ambos, como se muestra en la figura 22. El aforador de garganta larga con contracción solo en el fondo es un vertedor de pared gruesa.



**Figura 22.** Geometría Transversal de los Aforadores

**Fuente:** Manual para diseño de zonas de riego pequeñas. Mojarro y Robles Rubio (2007)

Los aforadores de garganta larga más usados son el de sección trapezoidal y el rectangular, debido a que esta geometría es muy común en los canales de riego.



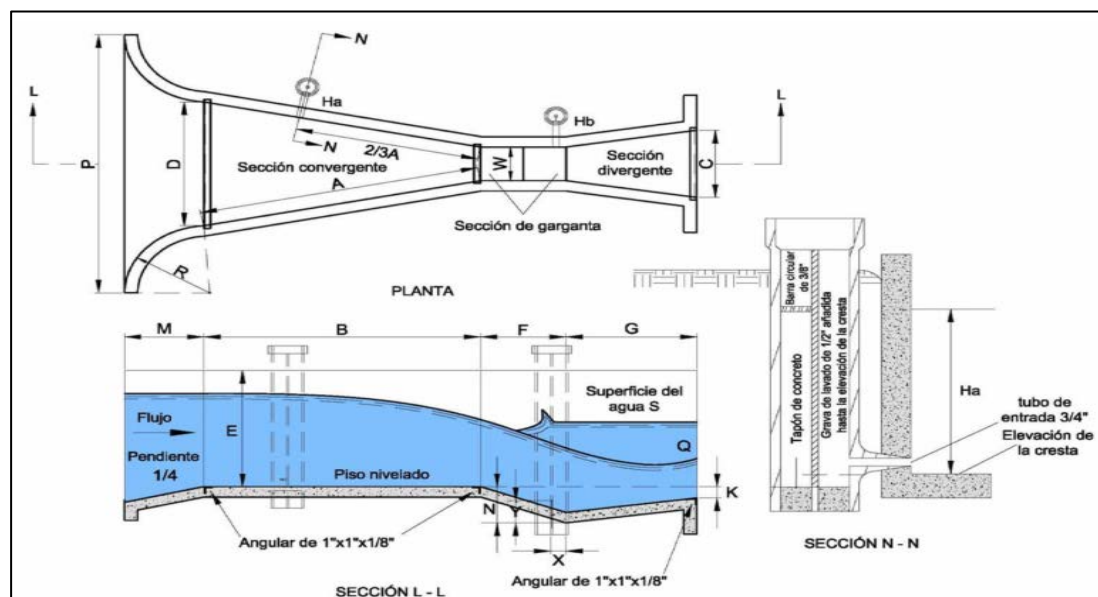
**Figura 23.** Aforador de Garganta larga Trapezoidal y Rectangular

**Fuente:** Manual para diseño de zonas de riego pequeñas. Mojarro y Robles Rubio (2007)

### 2.1.2.2.3.2.2 Aforador de Garganta Corta Parshall

Es una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal determinado, provocando el flujo crítico en la sección de garganta (contracción).

Consiste en una sección convergente, una sección de paredes verticales paralelas llamadas garganta y una sección divergente, dispuesta en planta y elevación como muestra la figura 24.



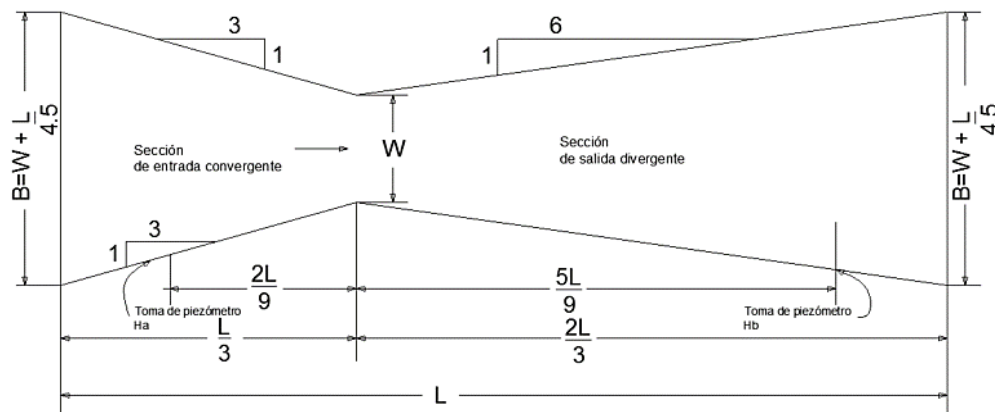
**Figura 24.** Planta, Elevación y dimensiones de un Aforador Parshall

**Fuente:** Modernización De La Enseñanza Aprendizaje En La Asignatura De Hidráulica II (Civ 230). Gálvez y Camacho (2006)

Gálvez y Camacho (2006) afirman: “El medidor Parshall fue ideado teniendo como objetivo principal la irrigación, los de tamaños menores, para regular la descarga de agua distribuida a las propiedades agrícolas y los mayores, para ser aplicados en grandes canales de riego” (p.195).5

### 2.1.2.2.3.2.3 Aforador de Garganta Cortada

Constituyen una forma simplificada del aforador Parshall, debido a que no poseen garganta, facilitando su construcción. Consiste en una sección de entrada convergente y la sección de salida divergente; el fondo del aforador es plano y las paredes verticales.



**Figura 25.** Aforador de Garganta Cortada

**Fuente:** Manual: Criterios de Diseños de Obras Hidraulicas para la Formulación de Proyectos Hidraulicos Multisectoriales y de Afianzamiento Hídrico. Autoridad Nacional del Agua (2010)

### 2.1.2.2.3.2.4 Aforador de Cresta Ancha (Vertedero de pared ancha)

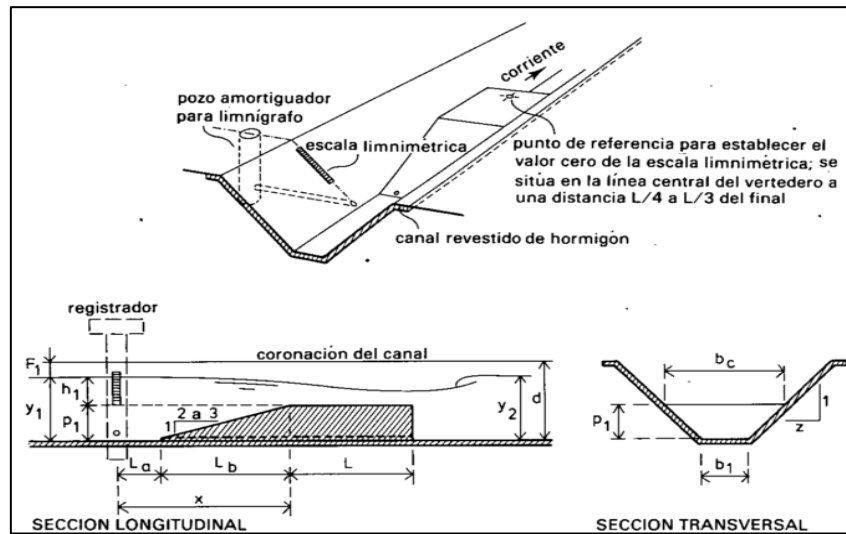
Los vertederos de pared ancha se forman por la elevación de un corto tramo de la plantilla del canal. Según el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (1988):

Se llaman vertederos de cresta ancha aquellos en los cuales la fricción sobre la cresta produce una pérdida de carga apreciable. Por tanto, en medidores de este tipo hay que tomar en cuenta la longitud de la cresta en la dirección del flujo al evaluar el gasto (p.29).

Según su sección transversal, estos vertederos pueden ser: rectangular, triangular y trapecial; siendo este último el más usado debido a su mejor precisión y adaptación.

El perfil trapecial produce una contracción de la sección transversal del flujo en sentido vertical, que se logra gradualmente por la rampa de entrada, lo que evita zonas de estancamiento o de velocidades bajas y permite el acarreo de los sedimentos, ya que al contraerse la sección transversal aumenta la velocidad (Instituto Mexicano de Tecnología

del Agua, 1988, p. 52).



**Figura 26.** Vertedero Aforador de Cresta Ancha Trapezoidal

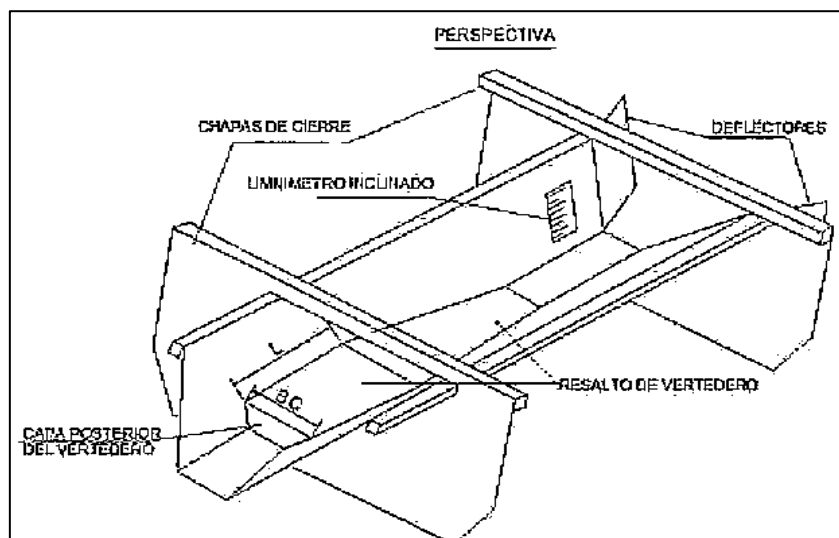
**Fuente:** Aforadores de caudal para canales abiertos. Bos, Replogle y Clemmens (1986)

#### 2.1.2.2.3.2.5 Aforador RBC

El aforador RBC fue desarrollado por Replogle, Bos y Clemmens en 1984. Constituye una estructura portátil para la medición de caudales basada en el funcionamiento de provocar un flujo de régimen crítico.

“El Aforador RBC tiene varias aplicaciones, en canales pequeños de tierra, canales parcelarios, pequeños cursos de agua; con el propósito de realizar estudios y/o evaluaciones sobre eficiencias en sistemas de riego” (Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego, 2015, p.17).

Su uso es muy aplicado a nivel parcelario y en pequeños canales cuyo caudal máximo a medir es de 50 l/s.



*Figura 27.* Aforador portátil RBC

**Fuente:** Manual No 5: Medición de Agua. Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego (2015)

## 2.2 EL RIEGO EN LA PROVINCIA DEL CAÑAR

### 2.2.1 GENERALIDADES

El riego es considerado como una actividad fundamental para la producción y desarrollo agrícola en la Provincia del Cañar, al mismo tiempo, es un elemento movilizador de personas agricultores, cuyo sustento y el de su familia se basa en la producción de sus tierras; por otra parte, se sabe que la población económicamente activa está concentrada en el sector agrario, dado que los terrenos son agro productivos y sumamente aptos para este tipo de actividades en la Provincia. La Subsecretaria de Riego y Drenaje (2011) afirma:

El riego no es un fin en sí mismo, es una herramienta que permite mejorar la producción y productividad agropecuaria tanto para la seguridad y soberanía alimentaria, como para la exportación; permite la intensificación de los cultivos, genera fuentes de trabajo, incrementa los ingresos agrícolas y, con ello, contribuye al buen vivir (. . .) especialmente al buen vivir rural (p. 108).

Al ser el riego tan importante para la producción agrícola y el recurso hídrico cada vez más

escaso, es fundamental concentrarse en la eficiencia para regadío. “La eficiencia del riego es el conjunto de beneficios que son generados por esta actividad para el país y los agricultores, sin perjudicar al ciclo hidrológico natural y los demás usuarios del agua” (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2011, p. 61).

La cuenca hidrográfica es un espacio coherente para la gestión del agua, para la efectividad de riego, es necesario conocer la disponibilidad de agua que genera la misma, lo que se traduce en una evaluación hidrológica satisfactoria, que permita el adecuado dimensionamiento físico de las obras para cumplir con los objetivos de suministro de agua.

Bajo esta realidad, la unidad de planificación para la gestión integral de los recursos hídricos a nivel provincial es la cuenca hidrográfica, de ahí que, el análisis de los Sistemas de Riego y de las Obras Hidráulicas en estudio se lo realiza por medio de la misma.

## **2.2.2 CARACTERIZACIÓN DEL RIEGO EN LA PROVINCIA POR CUENCA HIDROGRÁFICA**

Las zonas que llegan a juntar todas las aguas lluvia que se infiltran en el suelo o escurren en superficie y que fluyen hacia un mismo río o punto común, constituyen una cuenca hidrográfica.

Desde el punto de vista hidrológico, una cuenca hidrográfica es definida como el área geográfica natural o unidad de territorio delimitada por una divisoria topográfica, que capta las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común, denominado río principal (Vásquez et al.,2016, p.15).

En la Provincia del Cañar y en toda su área de influencia de riego, encontramos las cuencas hidrográficas conformadas por los ríos: Cañar Alto, Cañar Medio, Chimbo, Taura y Zamora, integrados por una serie de ríos secundarios y quebradas permanentes de donde se abastecen los 133 Sistemas de riego existentes.

Tabla 2

*Distribución de los Sistemas de Riego por Cuenca Hidrográfica*

<b>CUENCA HIDROGRÁFICA</b>	<b>NÚMERO DE SISTEMAS DE RIEGO</b>
CAÑAR (A)	41
CAÑAR (M)	47
CHIMBO	19
TAURA	11
ZAMORA	15
<b>TOTAL</b>	<b>133</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

En la Figura 28 se observa las Cuencas Hidrográficas de la Provincia del Cañar que abastecen los Sistemas de Riego, con la división de la Cuenca del Río Cañar en Alto y Medio, a fin de facilitar el análisis, por cuanto aquí se encuentran la mayoría de Sistemas de Riego.

De igual manera, en la Tabla 3 se presenta las cuencas hidrográficas de la Provincia con la respectiva superficie territorial que abarcan.

**Figura 28.** Cuencas Hidrográficas de la Provincia del Cañar

**Fuente:** Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar

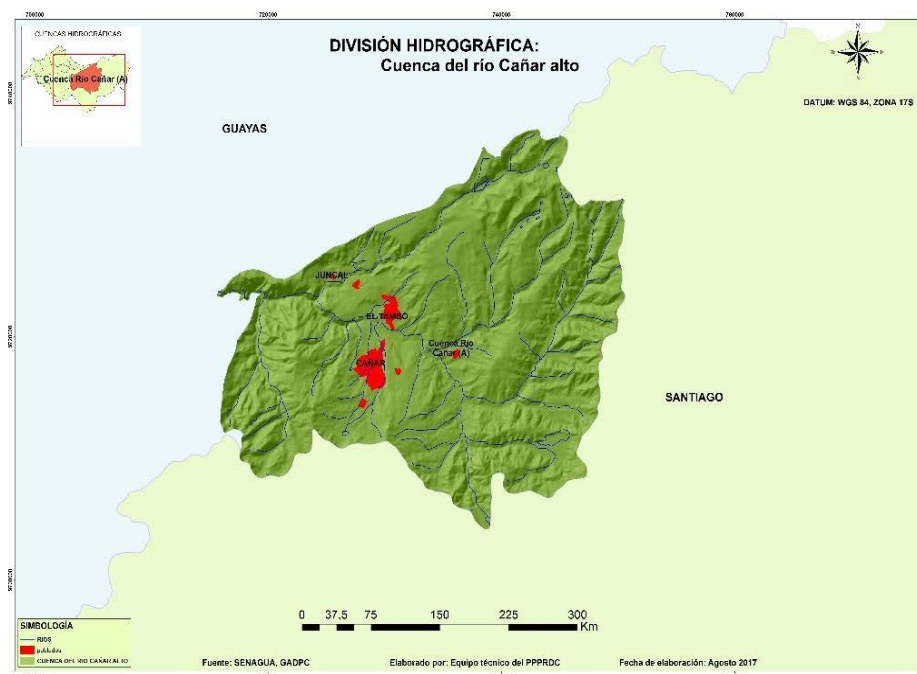
Tabla 3  
Superficie territorial por Cuenca Hidrográfica

CUENCAS HIDROGRÁFICAS	SUPERFICIE (ha)	PORCENTAJE %
Cuenca Río Cañar Alto (A)	69.326,21	16,88
Cuenca Río Cañar Medio (M)	89.236,18	21,73
Cuenca Río Chimbo	14.596,36	3,55
Cuenca Río Taura	79.106,28	19,26
Cuenca Río Zamora	158.412,02	38,57
<b>TOTAL</b>	<b>410.677,05</b>	<b>100,00</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

A continuación, se presenta los Sistemas de Riego que se abastecen de las Cuencas Hidrográficas mencionadas anteriormente, detallando en cada una de ellas, el área regada, número de usuarios, estado general de la infraestructura y especialmente los Tipos de Captación con sus respectivas fuentes de abastecimiento.

### 2.2.2.1 Cuenca Hidrográfica del Río Cañar Alto (A)



**Figura 29.** Cuenca Hidrográfica del Río Cañar Alto (A)

**Fuente:** Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.

### 2.2.2.1.1 *Sistemas de Riego*

El número de sistemas de riego en la Cuenca del Río Cañar Alta (A) es de 41, en la Tabla 4 se presenta la distribución de los mismos por Cantón y Parroquia.

Tabla 4  
*Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Cañar (A)*

<b>NÚMERO</b>	<b>SISTEMA DE RIEGO</b>	<b>CANTÓN</b>	<b>PARROQUIA</b>
1	HUALLICANGA	CAÑAR	JUNCAL
2	HUALLICANGA CHARCAY		JUNCAL
3	CANTAGALLO CORCOVADO		JUNCAL
4	TABLARUMI CHAUPITOMA		GUALETURO
5	MAMAYACO		GUALETURO
6	HUERTAS HUAYCO		INGAPIRCA
7	CACHIPLAYA		INGAPIRCA
8	VENDELECHE		INGAPIRCA
9	SAN CARLOS CAJONTAMBO		INGAPIRCA
10	AMANTA JESUS DEL GRAN PODER		INGAPIRCA
11	CHUGUIN TOMAHUAYCO		INGAPIRCA
12	HUAYRAPUNGO CHUGUIN CHICO		INGAPIRCA
13	MANGAN		INGAPIRCA
14	YURAYACU		INGAPIRCA
15	GUNAG-CRUZ PATA-ZAGUAN		INGAPIRCA
16	YANASACHA-SILANTE BAJO		INGAPIRCA
17	HATO DE LA VIRGEN		INGAPIRCA
18	TURCHI COCHAPAMBA		INGAPIRCA
19	CITACAR HUAGRAPAMBA TASQUI		CHOROCOYTE
20	CHUQUIRAHUA TORRERRUMI		CHOROCOYTE
21	EL ESTERO		CHOROCOYTE
22	BOLALOMA		CHOROCOYTE
23	PINOS-CACHIPAMBA		CHOROCOYTE
24	TAURIHUAYCO ROMERILLO		CHOROCOYTE
25	ZHILLA-SAN PEDRO BAJO		HONORATO VÁSQUEZ
26	MOLOBOG ZHILLA JOYAPA		HONORATO VÁSQUEZ
27	ZHULLIN-ATUHUYCO		HONORATO VÁSQUEZ
28	QUINUAPATA		HONORATO VÁSQUEZ
29	IZHCAYACU		INGAPIRCA
30	QUINOALES BUERAN		HONORATO VÁSQUEZ
31	CHIRIPUNGO		HONORATO VÁSQUEZ
32	PIÑAN QUILLOAC		CAÑAR CAB. CANTONAL
33	PLANTA DE LUZ ANTIGUA		CAÑAR CAB. CANTONAL
34	RAMOSHUYCO-CHORRILLOS		CAÑAR CAB. CANTONAL
35	PATOCOCHA		CAÑAR CAB. CANTONAL
36	GULAG EL SALTO	EL TAMBO	EL TAMBO
37	JABASPAMBA		EL TAMBO
38	SEMBRASAN		EL TAMBO
39	SISTEMAS DE RIEGO CHUICHUN (1-2-3-4)		EL TAMBO
40	SUMPALA VISISINGA		EL TAMBO
41	CACHI ROMERILLO		EL TAMBO

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

### 2.2.2.1.2 Número de usuarios en los Sistemas de Riego

Los Sistemas de Riego en esta zona proveen de agua a 8.456 usuarios, de los cuales, en el cantón Cañar se encuentran la mayor cantidad con 6.076. La parroquia del cantón Cañar con el mayor número de usuarios es Ingapirca con 2.134 usuarios, como se ilustra en la Tabla 5.

Tabla 5

Número de usuarios de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Cañar (A)

CANTÓN	PARROQUIA	USUARIOS	USUARIOS
Cañar	Cañar	1.384	6.076
	Chorocopte	479	
	Gualleturo	133	
	Honorato Vásquez	1.172	
	Ingapirca	2.134	
	Juncal	774	
El Tambo	El Tambo	2.380	2.380
<b>TOTAL</b>		<b>8.456</b>	<b>8.456</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

### 2.2.2.1.3 Área Regada

De acuerdo a la Tabla 6, la superficie bajo riego corresponde a 9.460,47 ha, de los cuales 7.725,32 ha se encuentra en el cantón Cañar y 1.735,15 ha se encuentra en el cantón El Tambo.

Tabla 6

Área Regada en la Cuenca Hidrográfica del Río Cañar (A)

CANTÓN	PARROQUIA	ÁREA DE RIEGO (Ha)	ÁREA DE RIEGO (Ha)
Cañar	Cañar	2.088,38	7.725,32
	Chorocopte	659,84	
	Gualleturo	243,15	
	Honorato Vásquez	1.396,24	
	Ingapirca	2.868,04	
	Juncal	469,67	
El Tambo	El Tambo	1.735,15	1.735,15
<b>TOTAL</b>		<b>9.460,47</b>	<b>9.460,47</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

### 2.2.2.1.4 Estado General de la Infraestructura de Riego

De la Tabla 7, se concluye que el 7% de la infraestructura de riego se encuentra en buen estado, el 39% en malas condiciones y el 54% se encuentra en un estado regular.

Tabla 7  
Estado General de la Infraestructura de Riego en la Cuenca del Río Cañar (A)

CANTÓN	PARROQUIA	NÚMERO DE SISTEMAS DE RIEGO	ESTADO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO		
			BUENO	MALO	REGULAR
Cañar	Cañar	4		1	3
	Chorocopte	6		2	4
	Gualleturo	2		2	
	Honorato Vásquez	6	2	1	3
	Ingapirca	14	1	7	6
	Juncal	3		1	2
El Tambo	El Tambo	6		2	4
<b>TOTAL</b>		<b>41</b>	<b>3</b>	<b>16</b>	<b>22</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

### 2.2.2.1.5 Tipología de las Obras de Captación

Existen 93 captaciones en los 41 sistemas de riego, de las cuales, 59 son Captaciones Tipo Rústica y 34 corresponden a Captaciones Tipo Convencional, como se detalla en la Tabla 8 según el respectivo Cantón y Parroquia.

Tabla 8  
Tipos de Captación de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Cañar (A)

CANTÓN	PARROQUIA	NÚMERO DE CAPTACIONES	TIPO DE CAPTACIÓN	
			RÚSTICA	CONVENCIONAL
Cañar	Cañar	5	1	4
	Chorocopte	25	20	5
	Gualleturo	8	7	1
	Honorato Vásquez	10	5	5
	Ingapirca	20	14	6
	Juncal	7	2	5
El Tambo	El Tambo	18	10	8
<b>TOTAL</b>		<b>93</b>	<b>59</b>	<b>34</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

### 2.2.2.1.5.1 Fuentes que abastecen las Captaciones de los Sistemas de Riego

De acuerdo a la Tabla 9, la mayor parte de las Captaciones de los Sistemas de Riego se abastecen de quebradas, en un número de 31, de vertientes en un número de 63 y 24 de río.

Tabla 9

*Fuentes de abastecimiento para Captaciones en la Cuenca Hidrográfica del Río Cañar (A)*

CANTÓN	PARROQUIA	NÚMERO DE FUENTES	FUENTES QUE ABASTECEN A LAS CAPTACIONES		
			QUEBRADA	RÍO	VERTIENTE
Cañar	Cañar	11	2	2	7
	Chorocopte	20	14	1	5
	Gualleturo	7	3		4
	Honorato Vásquez	15	7	3	5
	Ingapirca	42	3	8	31
	Juncal	3	2	1	
El Tambo	El Tambo	20		9	11
<b>TOTAL</b>		<b>118</b>	<b>31</b>	<b>24</b>	<b>63</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

### 2.2.2.2 Cuenca Hidrográfica del Río Cañar Medio (M)



**Figura 30.** Cuenca Hidrográfica del Río Cañar Medio (M)

**Fuente:** Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar

### 2.2.2.2.1 *Sistemas de Riego*

El número de sistemas de riego en la Cuenca del Río Cañar (M) es de 47, los mismos que se detallan en la Tabla 10 por Cantón y Parroquia.

Tabla 10  
*Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Cañar (M)*

<b>NÚMERO</b>	<b>SISTEMAS DE RIEGO</b>	<b>CANTÓN</b>	<b>PARROQUIA</b>
1	BASCAY	CAÑAR	GUALLETURO
2	ZAPAN		GUALLETURO
3	LLAMAGSHI		GUALLETURO
4	EL ROSARIO		GUALLETURO
5	SAN LUCAS		GUALLETURO
6	RÍO CORAZON		GUALLETURO
7	SAN LUIS		GUALLETURO
8	CARUPAMBA		GUALLETURO
9	PUCANGO LUN		GUALLETURO
10	ILINLOMA DORMIDORA		GUALLETURO
11	GOLONDRINA PEGAPAMBA COCHAHUASCAY		GUALLETURO
12	BUQUIAR GUALLETURO		GUALLETURO
13	PADRERRUMI POROTOPAMBA		GUALLETURO
14	RAMOSHUAYCO-GUALLETURO		GUALLETURO
15	SANTA ANA		GUALLETURO
16	HATUNHUAYCO BARROSCOCHA		GUALLETURO
17	ASTILLASPAMBA		ZHUD
18	PIMO DOS		ZHUD
19	CARZHAO PIMO		ZHUD
20	SAN CARLOS		ZHUD
21	WASHAZHUD		ZHUD
22	PIMO TRES		ZHUD
23	HUABISAYHUAYCO		ZHUD
24	ZHUD COLLA		ZHUD
25	HUALLICANGA GUN TINAJERAS		ZHUD
26	CUADRA PATALAG		ZHUD
27	PATALAG		ZHUD
28	PATALAG-CHUGCHUGUSO		ZHUD
29	RAMOSHUAYCO-ZHULLIN		ZHUD
30	CASTILLO		ZHUD
31	CHILCAHUAYCO		ZHUD
32	PACAY		ZHUD
33	YANACACHI CAZHIN		ZHUD
34	SAN VICENTE-CAYMATAN		SAN ANTONIO DE PAGUANCAY
35	VERDEHUAYCO		SAN ANTONIO DE PAGUANCAY
36	CORAZÓN		SAN ANTONIO DE PAGUANCAY
37	CENTRO PATUL		SAN ANTONIO DE PAGUANCAY

38	AGUA DE DON CRISTO		SAN ANTONIO DE PAGUANCAY
39	NORCAY		SAN ANTONIO DE PAGUANCAY
40	VALDIVIA		SAN ANTONIO DE PAGUANCAY
41	ZHUCAY		SAN ANTONIO DE PAGUANCAY
42	ESTERO LA ENVIDIA	LA TRONCAL	PANCHO NEGRO
43	ESTERO SIN NOMBRE		PANCHO NEGRO
44	MANUEL J. CALLE		PANCHO NEGRO
45	CHAUCHAS SUSCAL	SUSCAL	SUSCAL
46	MILMIL GRANDE		SUSCAL
47	MILMIL CHICO		SUSCAL

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

#### 2.2.2.2.2 *Número de Usuarios en los Sistemas de Riego*

Según la Tabla 11, el número de usuarios en los sistemas de riego es de 2.367, de los cuales en el cantón Cañar se encuentran la mayor cantidad de usuarios con 1.249. La parroquia del cantón Cañar con el mayor número de usuarios es Gualleturo con 725.

Tabla 11

*Número de usuarios de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Cañar (M)*

CANTÓN	PARROQUIA	USUARIOS	USUARIOS
Cañar	Gualleturo	725	1.249
	San Antonio de Paguancay	249	
	Zhud	275	
La Troncal	Pancho negro	591	859
	La Troncal	268	
Suscal	Suscal	259	259
<b>TOTAL</b>		<b>2.367</b>	<b>2.367</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

#### 2.2.2.2.3 *Área Regada*

De acuerdo a la Tabla 12, la superficie regada corresponde a 12.235,36 ha, de los cuales 8.596,67 ha se encuentra en el cantón La Troncal y 2.978,15 ha se encuentra en el cantón Cañar y 660,54 ha en el cantón Suscal.

Tabla 12  
*Área Regada en la Cuenca Hidrográfica del Río Cañar (M)*

CANTÓN	PARROQUIA	ÁREA DE RIEGO (ha)	ÁREA DE RIEGO (ha)
Cañar	Gualleturo	1.947,46	2.978,15
	San Antonio de Paguancay	581,79	
	Zhud	448,9	
La Troncal	Pancho negro	8.596,67	8.596,67
Suscal	Suscal	660,54	660,54
<b>TOTAL</b>		<b>12.235,36</b>	<b>12.235,36</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
 Elaboración: Propia.

#### 2.2.2.2.4 Estado General de la Infraestructura de Riego

De la Tabla 13, se concluye que el 4% de la infraestructura de riego se encuentra en buen estado, el 41% en malas condiciones y el 55% se encuentra en un estado regular.

Tabla 13  
*Estado General de la Infraestructura de Riego en la Cuenca del Río Cañar (M)*

CANTÓN	PARROQUIA	NÚMERO DE SISTEMAS DE RIEGO	ESTADO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO		
			BUENO	MALO	REGULAR
Cañar	Gualleturo	16	1	8	7
	San Antonio de Paguancay	8		6	2
	Zhud	17	1	5	11
La Troncal	Pancho negro	3			3
Suscal	Suscal	3			3
<b>TOTAL</b>		<b>47</b>	<b>2</b>	<b>19</b>	<b>26</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
 Elaboración: Propia.

#### 2.2.2.2.5 Tipología de las Obras de Captación

Existen 98 captaciones en los 47 sistemas de riego, de las cuales, 72 son Captaciones Rústicas y 26 Captaciones Convencionales; así se precisa en la Tabla 14 según el respectivo Cantón y

Parroquia.

Tabla 14

*Tipos de Captación de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Cañar (M)*

CANTÓN	PARROQUIA	NÚMERO DE CAPTACIONES	TIPO DE CAPTACIÓN	
			RÚSTICA	CONVENCIONAL
Cañar	Gualleturo	35	28	7
	San Antonio de Paguancay	22	16	6
	Zhud	27	24	3
La Troncal	Pancho negro	7	2	5
Suscal	Suscal	7	2	5
<b>TOTAL</b>		<b>98</b>	<b>72</b>	<b>26</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

#### 2.2.2.2.5.1 Fuentes que abastecen las Captaciones de los Sistemas de Riego

Como se indica en la Tabla 15, la mayor parte de las Captaciones de los sistemas de riego se abastecen de quebradas, en un número de 48, de vertientes en un número de 26 y 22 de río.

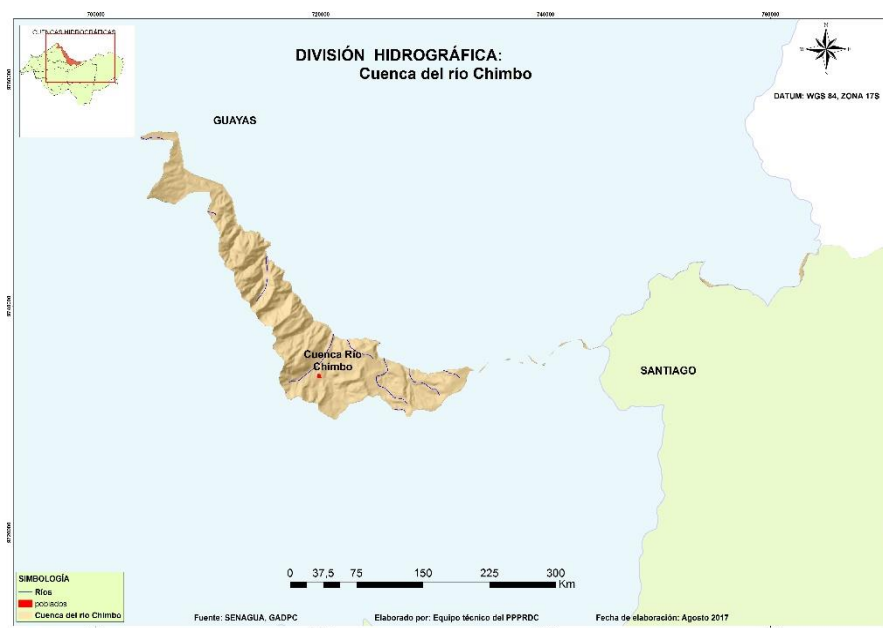
Tabla 15

*Fuentes de abastecimiento para Captaciones en la Cuenca Hidrográfica del Río Cañar (M)*

CANTÓN	PARROQUIA	NÚMERO DE FUENTES	FUENTES QUE ABASTECEN A LAS CAPTACIONES			
			ESTERO	QUEBRADA	RÍO	VERTIENTE
Cañar	Gualleturo	35		24	8	3
	San Antonio de Paguancay	22		6	4	12
	Zhud	27		16	3	8
La Troncal	Pancho negro	7	3		3	1
Suscal	Suscal	7		2	3	2
<b>TOTAL</b>		<b>98</b>	<b>3</b>	<b>48</b>	<b>21</b>	<b>26</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

### 2.2.2.3 Cuenca Hidrográfica del Río Chimbo



**Figura 31.** Cuenca Hidrográfica del Río Chimbo  
**Fuente:** Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar

#### 2.2.2.3.1 Sistemas de Riego

El número de sistemas de riego en la Cuenca del Río CHIMBO es de 19, los mismos que se mencionan en la Tabla 16, según el respectivo Cantón y Parroquia.

Tabla 16  
*Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Chimbo*

NÚMERO	SISTEMA DE RIEGO	CANTÓN	PARROQUIA
1	YURACACHI	CAÑAR	GENERAL MORALES
2	RAMBRAN INGAPOTRERO		GENERAL MORALES
3	TASQUI		GENERAL MORALES
4	RAMOS HURAY		GENERAL MORALES
5	PUCANGO LAS JUNTAS		GENERAL MORALES
6	RAMOSHUAYCO-GENERAL MORALES		GENERAL MORALES
7	SHILIZHUN		GENERAL MORALES
8	TASQUI SITINCA Y		GENERAL MORALES
9	POST DE MONTAÑA		GENERAL MORALES
10	PALMA ZHICAL		GENERAL MORALES
11	CASHAPAMBA		GENERAL MORALES
12	LA MINA		GENERAL MORALES
13	ZHICAL BAJO		GENERAL MORALES

14	CHOCAR QUITUCO		ZHUD
15	TAURI		ZHUD
16	QUEBRADA CUTUAY		VENTURA
17	RÍO LA CLEMENTINA		VENTURA
18	CHINIPAMBA		GENERAL MORALES
19	SIGSIPUNGO		ZHUD

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

### 2.2.2.3.2 *Número de usuarios de los Sistemas de Riego*

Según la Tabla 17, el número de usuarios en los sistemas de riego es de 244, de los cuales, en la parroquia General Morales se encuentran la mayor cantidad de usuarios con 149.

Tabla 17

*Número de usuarios de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Chimbo*

CANTÓN	PARROQUIA	USUARIOS	USUARIOS
Cañar	General Morales	149	244
	Ventura	32	
	Zhud	63	
<b>TOTAL</b>		<b>244</b>	<b>244</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

### 2.2.2.3.3 *Área Regada*

De acuerdo a la Tabla 18, la superficie bajo riego corresponde a 603,25 ha, de los cuales, 279,29 ha se encuentran en la parroquia General Morales.

Tabla 18

*Área Regada en la Cuenca Hidrográfica del Río Chimbo*

CANTÓN	PARROQUIA	ÁREA DE RIEGO (ha)	ÁREA DE RIEGO (ha)
Cañar	General Morales	279,29	603,25
	Ventura	79,6	
	Zhud	244,36	
<b>TOTAL</b>		<b>603,25</b>	<b>603,25</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

### 2.2.2.3.4 Estado General de la Infraestructura de Riego

De la Tabla 19, se concluye que el 47% de la infraestructura de riego se encuentran en malas condiciones y el 53% en un estado regular.

Tabla 19

*Estado General de la Infraestructura de Riego en la Cuenca del Río Chimbo*

CANTÓN	PARROQUIA	NÚMERO DE SISTEMAS DE RIEGO	ESTADO DE LA INFRAESTRUCUTRA		
			BUENO	MALO	REGULAR
Cañar	General Morales	14		6	8
	Ventura	2		1	1
	Zhud	3		2	1
<b>TOTAL</b>		<b>19</b>		<b>9</b>	<b>10</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

### 2.2.2.3.5 Tipología de las Obras de Captación

Existen 35 Captaciones en los 19 Sistemas de riego, de las cuales, 23 son Captaciones Rústicas y 12 Captaciones Convencionales; en la Tabla 20 se detalla las Captaciones existentes según el Cantón y la Parroquia.

Tabla 20

*Tipos de Captación de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Chimbo*

CANTÓN	PARROQUIA	NÚMERO DE CAPTACIONES	TIPO DE CAPTACIÓN	
			RÚSTICA	CONVENCIONAL
Cañar	General Morales	27	18	9
	Ventura	2	2	
	Zhud	6	3	3
<b>TOTAL</b>		<b>35</b>	<b>23</b>	<b>12</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

#### 2.2.2.3.5.1 Fuentes que abastecen las Captaciones de los Sistemas de Riego

Como se indica en la Tabla 21, la mayor parte de las Captaciones de los Sistemas de Riego se

abastecen de quebradas, en un número de 20 y de vertientes en un número de 11.

Tabla 21

*Fuentes de abastecimiento para Captaciones en la Cuenca del Río Chimbo*

CANTÓN	PARROQUIA	NÚMERO DE CAPTACIONES	TIPO DE FUENTES			
			QUEBRADA	RESERVORIO	RIO	VERTIENTE
Cañar	General Morales	27	14	1	1	11
	Ventura	2	1		1	
	Zhud	6	5		1	
<b>TOTAL</b>		<b>35</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>11</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

#### 2.2.2.4 Cuenca Hidrográfica del Río Taura



**Figura 32.** Cuenca Hidrográfica del Río Taura

**Fuente:** Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar

##### 2.2.2.4.1 *Sistemas de Riego*

El número de sistemas de riego en la Cuenca del Río TAURA es de 11, los mismos que se presentan en la Tabla 22 según el Cantón y la Parroquia a la que pertenecen.

Tabla 22  
Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Taura

<b>NÚMERO</b>	<b>SISTEMA DE RIEGO</b>	<b>CANTÓN</b>	<b>PARROQUIA</b>
1	CHILCHIL CAPARINA	CAÑAR	DUCUR
2	CHILCHIL LA CAPILLA		DUCUR
3	APANGORAS BAJO		DUCUR
4	APANGORAS ALTO		DUCUR
5	COCHAPAMBA		CHONTAMARCA
6	RUMIHURCO		CHONTAMARCA
7	EL ENTABLE		CHONTAMARCA
8	EL ARRIENDO		CHONTAMARCA
9	TUNGURAHUA-RÍO GRANDE		CHONTAMARCA
10	EL PARAISO		CHONTAMARCA
11	ASOCIACION PROCANU	LA TRONCAL	MANUEL J. CALLE

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

#### 2.2.2.4.2 Número de usuarios de los Sistemas de Riego

Según se indica en la Tabla 23, el número de usuarios en los sistemas de riego es de 292, de los cuales, en el Cantón Cañar se encuentran la mayor cantidad de usuarios con 241. La parroquia del Cantón Cañar con el mayor número de usuarios es Chontamarca con 145 usuarios.

Tabla 23  
Número de usuarios de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Taura

<b>CANTÓN</b>	<b>PARROQUIA</b>	<b>USUARIOS</b>	<b>USUARIOS</b>
Cañar	Chontamarca	145	241
	Ducur	96	
La Troncal	Manuel J. Calle	51	51
<b>TOTAL</b>		<b>292</b>	<b>292</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

### 2.2.2.4.3 *Área Regada*

De acuerdo a la Tabla 24, la superficie bajo riego corresponde a 12.194,84 ha, de los cuales, 11.795,42 ha se encuentra en el Cantón La Troncal.

Tabla 24  
*Área Regada en la Cuenca del Río Taura*

CANTÓN	PARROQUIA	ÁREA DE RIEGO (ha)	ÁREA DE RIEGO (ha)
Cañar	Chontamarca	181,16	399,42
	Ducur	218,26	
La Troncal	Manuel J. Calle	364,11	11.795,42
	Pancho Negro	4.830,98	
	La Troncal	6.600,33	
<b>TOTAL</b>		<b>12.194,84</b>	<b>12.194,84</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

### 2.2.2.4.4 *Estado General de la Infraestructura de Riego*

De la Tabla 25, se concluye que el 18% de la infraestructura de riego se encuentran en buen estado, el 36% en malas condiciones y el 46% en un estado regular.

Tabla 25  
*Estado General de la Infraestructura de Riego en la Cuenca del Río Taura*

CANTÓN	PARROQUIA	NÚMERO DE SISTEMAS DE RIEGO	ESTADO DE LA INFRAESTRUCUTRA		
			BUENO	MALO	REGULAR
Cañar	Chontamarca	6	1	3	2
	Ducur	4	1	1	2
La Troncal	Manuel J. Calle	1			1
<b>TOTAL</b>		<b>11</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

### 2.2.2.4.5 *Tipología de las Obras de Captación*

Existen 18 Captaciones en los 11 Sistemas de Riego, de las cuales, 7 son Captaciones Rústicas

y 11 Captaciones Convencionales; en la Tabla 26 se detalla las Captaciones existentes según el respectivo Cantón y Parroquia.

Tabla 26

*Tipos de Captación de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Taura*

CANTÓN	PARROQUIA	NÚMERO DE CAPTACIONES	TIPO DE CAPTACIÓN	
			RÚSTICA	CONVENCIONAL
Cañar	Chontamarca	7	6	1
	Ducur	6		6
La Troncal	Manuel J. Calle	2	1	1
	Pancho negro	3		3
<b>TOTAL</b>		<b>18</b>	<b>7</b>	<b>11</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

#### 2.2.2.4.5.1 Fuentes que abastecen las Captaciones de los Sistemas de Riego

Como se indica en la Tabla 27, la mayor parte de las Captaciones de los Sistemas de Riego se abastecen de quebrada en un número de 12.

Tabla 27

*Fuentes de abastecimiento para Captaciones en la Cuenca del Río Taura*

CANTÓN	PARROQUIA	NÚMERO DE FUENTES	FUENTES QUE ABASTECEN A LAS CAPTACIONES		
			ESTERO	QUEBRADA	RÍO
Cañar	Chontamarca	7		7	
	Ducur	6		5	1
La Troncal	Manuel J. Calle	2			2
	Pancho negro	3	2		1
<b>TOTAL</b>		<b>18</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>4</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

### 2.2.2.5 Cuenca Hidrográfica del Río Zamora



**Figura 33.** Cuenca Hidrográfica del Río Zamora

**Fuente:** Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar

#### 2.2.2.5.1 *Sistemas de Riego*

El número de Sistemas de Riego en la Cuenca del Río ZAMORA es de 15, los mismos que se distribuyen según el respectivo Cantón y Parroquia, como se indica en la Tabla 28.

Tabla 28

*Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Zamora*

<b>NÚMERO</b>	<b>SISTEMA DE RIEGO</b>	<b>CANTÓN</b>	<b>PARROQUIA</b>
1	GALUAY VOLUNTAD DE DIOS	BIBLIAN	NAZON
2	CHICA DISPENSA		JERUSALEN
3	CACHI GALUAY		JERUSALEN
4	EL SALADO	DELEG	SOLANO
5	SAN ANTONIO	AZOGUES	GUAPAN
6	GONZALEZ RODRIGUEZ		GUAPAN
7	VINTIMILLA		GUAPAN
8	BUIL GUAPAN		GUAPAN
9	TAGZHANA HUINTUL		LUIS CORDERO
10	LEONAN		LUIS CORDERO
11	ACUEDUCTO LUIS CORDERO		LUIS CORDERO
12	SANTA MARTHA		SAN MIGUEL
13	QUEBRADA LA VIRGEN		SAN MIGUEL
14	GUARANGO CHICO		SAN MIGUEL
15	CHUQUIPATA		JAVIER LOYOLA

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.

Elaboración: Propia.

### 2.2.2.5.2 *Número de usuarios de los Sistemas de Riego*

De acuerdo a la Tabla 29, el número de usuarios en los Sistemas de Riego es de 1.041, de los cuales, en el Cantón Azogues se encuentran la mayor cantidad de usuarios con 860. La Parroquia del Cantón Azogues con el mayor número de usuarios es Guapán con 320 usuarios.

Tabla 29

*Número de usuarios de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Zamora*

<b>CANTÓN</b>	<b>PARROQUIA</b>	<b>USUARIOS</b>	<b>USUARIOS</b>
Azogues	Guapán	320	860
	Javier Loyola	230	
	Luis Cordero	209	
	San Miguel	101	
Biblián	Jerusalén	87	143
	Nazon	56	
Déleg	Solano	38	38
<b>TOTAL</b>		<b>1.041</b>	<b>1.041</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.

Elaboración: Propia.

### 2.2.2.5.3 *Área Regada*

Según la Tabla 30, la superficie bajo riego corresponde a 915, 17 ha, de los cuales, 501,83 ha se encuentra en el cantón Azogues, 401,75 ha se encuentra en el cantón Biblián y 11,59 ha., en el cantón Déleg.

Tabla 30  
Área Regada en la Cuenca del Río Zamora

CANTÓN	PARROQUIA	ÁREA DE RIEGO (ha)	ÁREA DE RIEGO (ha)
Azogues	Guapán	156,65	501,83
	Azogues	73,23	
	Javier Loyola	37,2	
	Luis Cordero	206,81	
	San Miguel	27,94	
Biblián	Jerusalén	313,97	401,75
	Sageo	1,63	
	Nazon	86,15	
Déleg	Solano	11,59	11,59
<b>TOTAL</b>		<b>915,17</b>	<b>915,17</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

#### 2.2.2.5.4 Estado General de la Infraestructura de Riego

De la Tabla 31, se concluye que el 7% de los Sistemas de Riego se encuentra en buen Estado, el 33% en malas condiciones y el 60% se encuentra en un estado regular.

Tabla 31  
Estado General de la Infraestructura de Riego en la Cuenca del Río Zamora

CANTÓN	PARROQUIA	NÚMERO DE SISTEMAS DE RIEGO	ESTADO DE LA INFRAESTRUCUTRA		
			BUENO	MALO	REGULAR
Azogues	Guapán	4	1	1	2
	Javier Loyola	1		1	
	Luis Cordero	3		1	2
	San Miguel	3		2	1
Biblián	Jerusalén	2			2
	Nazon	1			1
Déleg	Solano	1			1
<b>TOTAL</b>		<b>15</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>9</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

#### 2.2.2.5.5 Tipología de las Obras de Captación

Existen 29 Captaciones en los Sistemas de Riego levantados, de las cuales 17 son Captaciones

Rústicas y 12 Captaciones Convencionales; en la Tabla 32 se indican las Captaciones existentes según el respectivo Cantón y Parroquia.

Tabla 32

*Tipos de Captación de los Sistemas de Riego en la Cuenca del Río Zamora*

CANTÓN	PARROQUIA	NÚMERO DE CAPTACIONES	TIPO DE CAPTACIÓN	
			RÚSTICA	CONVENCIONAL
Azogues	Guapán	6	3	3
	Javier Loyola	1		1
	Luis Cordero	6	6	
	San Miguel	8	2	6
Biblián	Jerusalén	3	1	2
	Nazon	4	4	
Déleg	Solano	1	1	
<b>TOTAL</b>		<b>29</b>	<b>17</b>	<b>12</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

#### 2.2.2.5.5.1 Fuentes que abastecen las Captaciones de los Sistemas de Riego

Como se indica en la Tabla 33, la mayor parte de las Captaciones de los Sistemas de Riego se abastecen de quebrada en un número de 12.

Tabla 33

*Fuentes de abastecimiento para Captaciones en la Cuenca del Río Zamora*

CANTÓN	PARROQUIA	NÚMERO DE CAPTACIONES	FUENTES QUE ABASTECEN A LAS CAPTACIONES			
			LAGUNA	QUEBRADA	RIO	VERTIENTE
Azogues	Guapán	6		4		2
	Javier Loyola	1			1	
	Luis Cordero	6				6
	San Miguel	8		4	4	
Biblián	Jerusalén	3	1	2		
	Nazon	4		1	3	
Déleg	Solano	1		1		
<b>TOTAL</b>		<b>29</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>8</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

## 2.2.3 SÍNTESIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL RIEGO EN LA PROVINCIA

### 2.2.3.1 Distribución de los Sistemas de Riego

En la Provincia del Cañar, se encuentran funcionando 133 Sistemas de Riego, distribuidos en 7 Cantones y 23 Parroquias, a su vez, se abastecen de fuentes de 5 Cuencas Hidrográficas, como se detalla en la Tabla 34.

Tabla 34

*Distribución de los Sistemas de Riego en la Provincia del Cañar*

Distribución de los Sistemas de Riego según Cuenca Hidrográfica, Cantón y Parroquia								
CUENCA HIDROGRÁFICA			CANTÓN			PARROQUIA		
Nombre	Sistemas de Riego		Nombre	Sistemas de Riego		Nombre	Sistemas de Riego	
	Número	Porcentaje %		Número	Porcentaje %		Número	Porcentaje %
CAÑAR (A)	41	31	CAÑAR	35	26	CAÑAR CABECERA CANTONAL	4	3
						CHOROCOPE	6	5
						GUALLETURO	2	1
						HONORATO VASQUEZ	6	5
						INGAPIRCA	14	10
						JUNCAL	3	2
EL TAMBO	6	5	EL TAMBO	6	5			
CAÑAR (M)	47	36	CAÑAR	41	31	GUALLETURO	16	12
						SAN ANTONIO DE PAGUANCAY	8	6
						ZHUD	17	13
			SUSCAL	3	2	SUSCAL	3	2
LA TRONCAL	3	2	PANCHO NEGRO	3	2			
CHIMBO	19	14	CAÑAR	19	14	ZHUD	3	2
						GENERAL MORALES	14	11
						VENTURA	2	1
TAURA	11	8	CAÑAR	10	8	CHONTAMARCA	6	5
						DUCUR	4	3
			LA TRONCAL	1	1	MANUEL J. CALLE	1	1
ZAMORA	15	11	AZOGUES	11	8	GUAPAN	4	3
						JAVIER LOYOLA	1	1
						LUIS CORDERO	3	2
						SAN MIGUEL	3	2
			BIBLIAN	3	2	JERUSALEN	2	1
			DELEG	1	1	NAZON	1	1
						SOLANO	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>133</b>	<b>100</b>	<b>TOTAL</b>	<b>133</b>	<b>100</b>	<b>TOTAL</b>	<b>133</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.

Elaboración: Propia.

### 2.2.3.2 Estado General de la Infraestructura de Riego

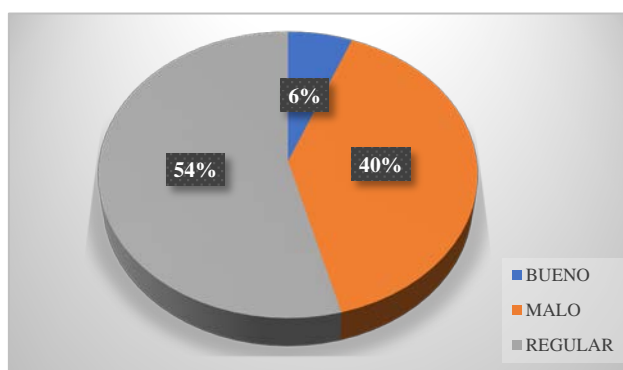
En la Tabla 35, se indica el estado de la infraestructura de riego en la Provincia según el Cantón y la Parroquia, de lo que se concluye que apenas el 6% de los Sistemas de Riego se encuentra en buen estado.

Tabla 35

*Estado General de la Infraestructura de Riego de la Provincia del Cañar*

CANTÓN	PARROQUIA	NÚMERO DE SISTEMAS DE RIEGO	ESTADO DE LA INFRAESTRUCUTRA		
			BUENO	MALO	REGULAR
Azogues	Guapán	4	1	1	2
	Javier Loyola	1		1	
	Luis Cordero	3		1	2
	San Miguel	3		2	1
Biblián	Jerusalén	2			2
	Nazón	1			1
Cañar	Cañar	4		1	3
	Chontamarca	6	1	3	2
	Chorocopte	6		2	4
	Ducur	4	1	1	2
	General Morales	14		6	8
	Gualleturo	18	1	10	7
	Honorato Vásquez	6	2	1	3
	Ingapirca	14	1	7	6
	Juncal	3		1	2
	San Antonio de Paguancay	8		6	2
	Ventura	2		1	1
	Zhud	20	1	7	12
Déleg	Solano	1			1
El Tambo	El Tambo	6		2	4
La Troncal	Manuel J. Calle	1			1
	Pancho negro	3			3
Suscal	Suscal	3			3
<b>TOTAL</b>		<b>133</b>	<b>8</b>	<b>53</b>	<b>72</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.



**Figura 34.** Estado General de la Infraestructura de Riego  
**Fuente:** Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar

### 2.2.3.3 Obras de Captación de la Provincia del Cañar

#### 2.2.3.3.1 Tipología de las Obras de Captación

En la actualidad, existen 282 Captaciones en la Provincia del Cañar, como se indica en la Tabla 36, la Captación Tipo Rústica es la predominante, de hecho, el 65% de los sistemas de riego captan el agua por medio de esta toma.

Tabla 36

*Tipología de las Obras de Captación para Riego en la Provincia del Cañar*

CANTÓN	PARROQUIA	NÚMERO DE CAPTACIONES	TIPO DE CAPTACIÓN	
			RÚSTICA	CONVENCIONAL
Azogues	Guapán	6	3	3
	Javier Loyola	1		1
	Luis Cordero	6	6	
	San Miguel	8	2	6
Biblián	Jerusalén	3	1	2
	Nazon	4	4	
Cañar	Cañar	5	1	4
	Chontamarca	7	6	1
	Chorocopte	25	20	5
	Ducur	6		6
	General Morales	27	18	9
	Gualleturo	43	35	8
	Honorato Vásquez	10	5	5
	Ingapirca	20	14	6
	Juncal	7	2	5
	San Antonio de Paguancay	22	16	6
	Ventura	2	2	
	Zhud	39	33	6
Déleg	Solano	1	1	
El Tambo	El Tambo	18	10	8
La Troncal	Manuel J. Calle	2	1	1
	Pancho negro	13	2	11
Suscal	Suscal	7	2	5
<b>TOTAL</b>		<b>282</b>	<b>184</b>	<b>98</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

### 2.2.3.3.2 Estado de las Obras de Captación

Según la Tabla 37, apenas 37 de las 282 Obras de Captación se encuentran en buen estado, es decir, el 77% de los Sistemas de Riego no disponen de una adecuada Captación.

Tabla 37  
Estado de las Obras de Captación para Riego en la Provincia del Cañar

CANTÓN	PARROQUIA	NÚMERO DE SISTEMAS DE RIEGO	ESTADO DE LAS CAPTACIONES		
			BUENO	MALO	REGULAR
Azogues	Guapán	6	2	2	2
	Javier Loyola	1	1		
	Luis Cordero	6		6	
	San Miguel	8	2	2	4
Biblián	Jerusalén	3		2	1
	Nazon	4		4	
Cañar	Cañar	5	1	2	2
	Chontamarca	7	1	6	
	Chorocopte	25	1	17	7
	Ducur	6			6
	General Morales	27	4	7	16
	Gualleturo	43	2	17	24
	Honorato Vásquez	10		8	2
	Ingapirca	20	2	11	7
	Juncal	7		3	4
	San Antonio de Paguancay	22		14	8
	Ventura	2		2	
	Zhud	39	8	18	13
Déleg	Solano	1		1	
El Tambo	El Tambo	18	2	7	9
La Troncal	Manuel J. Calle	2		2	
	Pancho negro	13	10	2	1
Suscal	Suscal	7	1	2	4
<b>TOTAL</b>		<b>282</b>	<b>37</b>	<b>135</b>	<b>110</b>

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

## CAPITULO III

### 3 BASES Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO

#### 3.1 CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO HIDRAULICO DE LAS OBRAS DE CAPTACIÓN

El tipo de toma y su ubicación es la primera decisión a tomar en un proyecto, debido a que a ésta se subordinan generalmente las demás obras de un sistema de riego.

##### 3.1.1 ASPECTOS FUNDAMENTALES PARA EL DISEÑO DE UNA BOCATOMA

Ortiz Flórez (2011) recomienda que estas obras deben cumplir las siguientes condiciones:

- Con cualquier calado del río deben captar una cantidad de agua prácticamente constante de caudal, especialmente en época de estiaje.
- Se debe procurar que el agua captada esté libre de sólidos, entendiéndose por sólido el material flotante y de acarreo, con el objetivo de evitar sedimentación excesiva en el desarenador y conducción.
- El tipo de construcción debe ser de fácil ejecución y económica, además de reducir y facilitar las operaciones de mantenimiento.
- Durante los fenómenos de crecidas, los excesos de agua deben ser evacuados de una manera segura de la obra de captación.
- Presentar aguas abajo la suficiente capacidad para generar transporte y así para evitar la sedimentación.
- Su emplazamiento debe asegurar un adecuado funcionamiento hidráulico además de brindar facilidades para su construcción.
- Poseer la seguridad necesaria para garantizar su permanencia durante su vida útil.

(p.141)

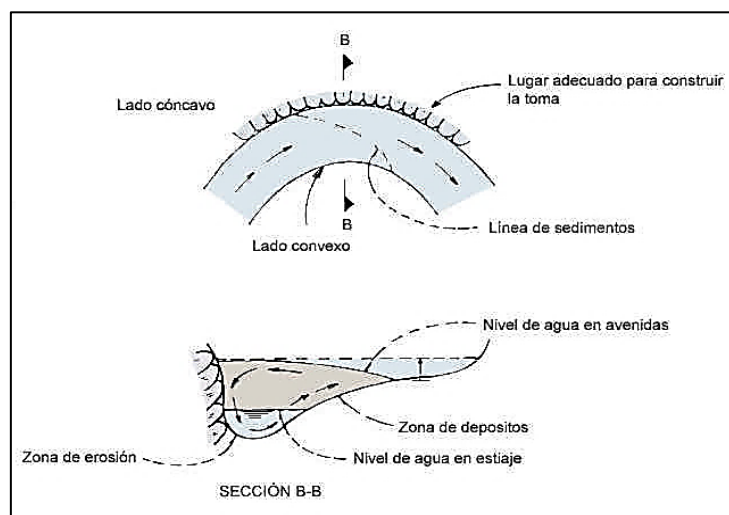
### 3.1.2 ESTUDIOS FUNDAMENTALES A SER TOMADOS EN CUENTA PREVIO AL DISEÑO

Antes de empezar con el diseño de una bocatoma se debe tener en cuenta los siguientes aspectos y estudios:

#### - Ubicación de la Toma

La Captación se ubica tentativamente al inicio de la zona de Riego, conocida esta cota, se enlaza con la línea de conducción formando una intersección en el río y estableciendo de manera aproximada el sitio de la toma. Cabe recalcar, que la ubicación exacta está determinada por la Topografía y Geología de la Zona.

La ubicación más apropiada para una captación es en los tramos rectos y estables del río, sin embargo cuando no es posible estas condiciones, Krochin (1986) recomienda emplazar la toma en la parte concava de un río, para evitar la sedimentación en la misma.



**Figura 35.** Ubicación de la Toma

**Fuente:** Diseño de Bocatomas. Mansen Valderrama (s.f)

#### - Topografía

Determinado el probable lugar de ubicación de la toma, se realizará un levantamiento topográfico, como mínimo 100 metros aguas arriba y abajo. Para tener el levantamiento

en detalle de un tramo de 200 metros de longitud, sobre el cual se vacíe la información geológica e hidrodinámica (zonas de erosión y sedimentación) y topográfica propiamente dicha con pendiente del río y características del lecho y bordes del río. En base a esta información podrá definirse adecuadamente la ubicación final de la obra de captación y sus obras complementarias (García Trisolini, 2008, p. 106).

- **Hidrología**

Es de suma importancia conocer el comportamiento hidrológico del río, ya que esto permitirá garantizar el caudal a derivar y así como definir el dimensionamiento de los elementos conformantes de la bocatoma. Entre los datos a obtener son:

- a. Caudal del diseño para una avenida máxima.
- b. Caudales medios y mínimos.
- c. Curva de caudal versus tirante en la zona del barraje (Mansen Valderrama, s.f, p.9).

- **Condiciones Geológicas y Geotécnicas**

Es importante conocer las condiciones geomorfológicas, geológicas y geotécnicas, ya que su conocimiento permitirá dimensionar en mayor seguridad la estructura; por lo que se recomienda la obtención de los siguientes datos como resultado de los estudios geológicos – geotécnicos:

- a. Curva de graduación del material conformante del lecho del río
- b. Sección transversal que muestre la geología de la zona de ubicación de la bocatoma.
- c. Coeficiente de permeabilidad.
- d. Capacidad portante
- e. Resultados sobre ensayos de hincado de pilotes o tabla, estacas
- f. Cantidad de sedimento que transporta el río (Mansen Valderrama, s.f, p.9).

- **Condiciones Ecológicas**

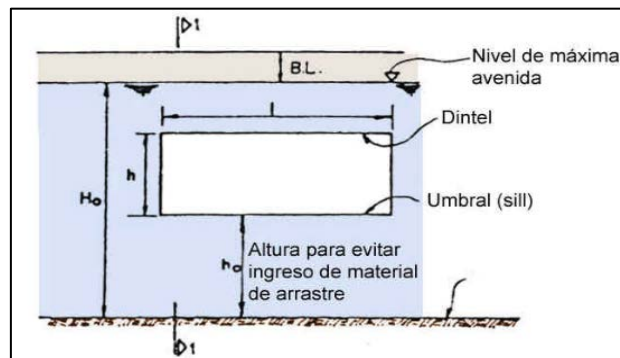
Siempre toda construcción en un río causa alteración del equilibrio ecológico de la zona, por este motivo, se debe tratar de compensar el desequilibrio que causa el emplazamiento de la bocatoma con estructuras como la escalera de peces (Mansen Valderrama, s.f).

### 3.1.3 TOMA CONVENCIONAL

Se presenta a continuación las partes constitutivas de la Captación, con la respectiva función que desempeñan, los criterios de diseño que se emplean para su cálculo y algunas recomendaciones para su dimensionamiento.

#### 3.1.3.1 Reja de Entrada

Su función es impedir el ingreso de material sólido flotante demasiado grueso al desripador y para ello se colocan barrotes los cuales tienen un determinado espesor para que no sufran deformación por impacto del material flotante, y una separación para que el mismo no ingrese (Luzuriaga , 2005, p.79).



**Figura 36.** Reja de Entrada  
**Fuente:** Diseño de Bocatomas. Mansen Valderrama (s.f)

#### 3.1.3.1.1 Criterios de Diseño

Se presentan aquellos criterios que deben ser considerados para un diseño eficiente y un correcto funcionamiento hidráulico.

- El agua se capta por medio de una reja provista de barrotes verticales que impiden la entrada del material flotante y de piedras mayores del espacio entre los mismos.
- Durante crecientes la reja de entrada funciona como un orificio regulando de esta manera el caudal que entra, y durante el estiaje la misma funciona como un vertedero sumergido.
- La Reja está dentro de un muro que separa el desripiador del río y aguas abajo se prolonga a conectarse con la compuerta de purga.
- A la reja de entrada se la debe concebir con una forma rectangular porque facilita su construcción y por representar mayores beneficios en su diseño.
- El umbral de la reja debe estar a una altura no menor de 60-80 cm medidos desde el fondo del río.
- La velocidad neta a través de la reja de preferencia debe estar comprendida entre los 0.9m/s y 1.2 m/s.
- El dintel que sostiene a los barrotes en su parte superior es una viga de hormigón armado que debe soportar, a más de su peso propio, el empuje horizontal del agua en creciente. Este dintel se apoya solamente en sus extremos, o, si es muy largo, se construyen contrafuertes intermedios que dividen a la reja en varios tramos.
- Los barrotes deben ser lo suficientemente fuertes para resistir el impacto producido por troncos u otros materiales flotantes gruesos que intentan ingresar al desripiador, especialmente en crecidas.
- Los barrotes deben estar al ras o sobresalir un poco de la cara del muro para facilitar su limpieza del material flotante que a veces tiende a tapar la reja, se recomienda una inclinación entre 50 a 70°.
- Los barrotes se hacen de rieles o de hormigón armado con un ancho no menor de 10 cm y una separación máxima de 20 cm entre sí (Krochin, 1986; Luzuriaga, 2005).

### 3.1.3.2 Desripiador

Consiste en una cámara que está ubicada después de la reja de entrada y cuya función es detener las piedras u otro material que ha alcanzado a pasar entre los barrotes de la reja y que podría causar daños en la conducción (Luzuriaga , 2005).

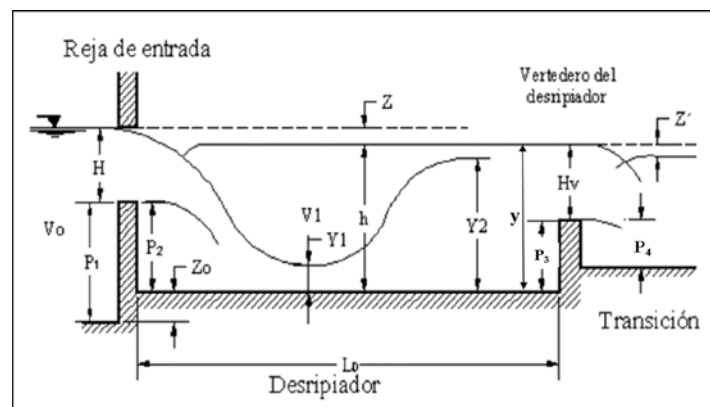


Figura 37. Desripiador

Fuente: Manual de diseño a Nivel de Prefactibilidad para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Luzuriaga (2005)

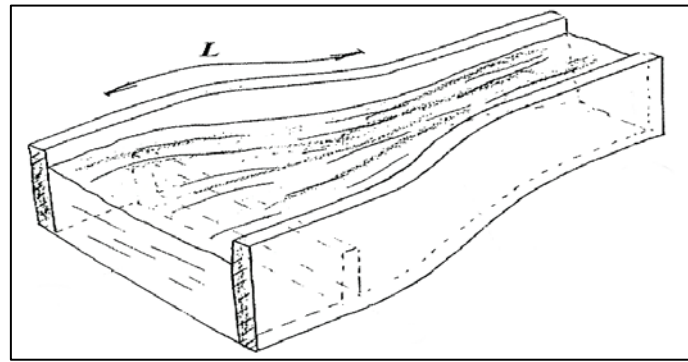
#### 3.1.3.2.1 Criterios de Diseño

- La velocidad en el desripiador debe ser relativamente baja.
- El paso hacia la conducción debe hacerse a través de un vertedero sumergido.
- La longitud del desripiador deberá ser por lo menos igual a la longitud del resalto que se produce o el necesario para que se produzca una transición.
- El desripiador realiza su proceso de limpieza (evacuación de piedras) mediante una compuerta y un canal de lavado, los mismos que deben tener las dimensiones adecuadas para permitir la evacuación del material sedimentado.
- El canal debe tener una pendiente suficiente para conseguir una velocidad de lavado alta y que sea capaz de arrastrar todas las piedras. Además, se debe procurar eliminar los ángulos rectos y unir las paredes con curvas que converjan hacia la compuerta para que las piedras no se queden en las esquinas.

- La velocidad del agua en la compuerta no debe ser inferior a 2 m/s con el objetivo de poder acarrear el material acumulado en el desripador (Krochin, 1986; Luzuriaga, 2005).

### 3.1.3.3 Transición

Es una estructura que sirve como enlace entre el desripador y la conducción, permite un cambio de sección en forma gradual, con el fin de evitar perturbaciones en el flujo y minimizar las pérdidas de carga (Pacheco, s.f).



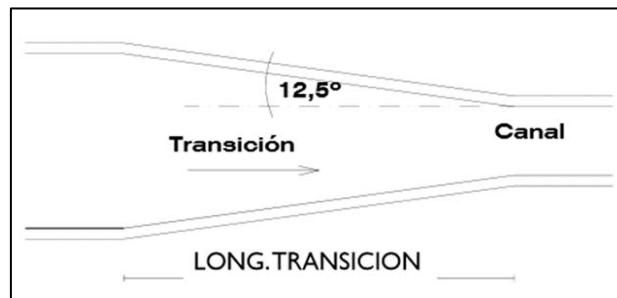
**Figura 38.** Transición

**Fuente:** Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Ortiz Flórez (2011)

#### 3.1.3.3.1 Criterios de Diseño

- El diseño no debe presentar ángulos agudos, ni cambios bruscos de dirección y se puede proyectar la transición de forma alabeada y con curvas suaves, aunque esto encarezca la obra.
- Para la longitud de la transición se considera como criterio de partida que el ángulo máximo entre el eje del canal y la alineación entre la entrada y a la salida no exceda los  $12,5^\circ$
- Las pérdidas de energía que se producen en una transición se deben especialmente a la fricción y al cambio de velocidad.
- La pérdida por fricción es pequeña y puede despreciarse en cálculos preliminares.

- La pérdida por velocidad o local es una función de la diferencia entre las cargas de velocidad y debe ser considerada (Pacheco, s.f).



**Figura 39.** Esquema de La Transición en Planta

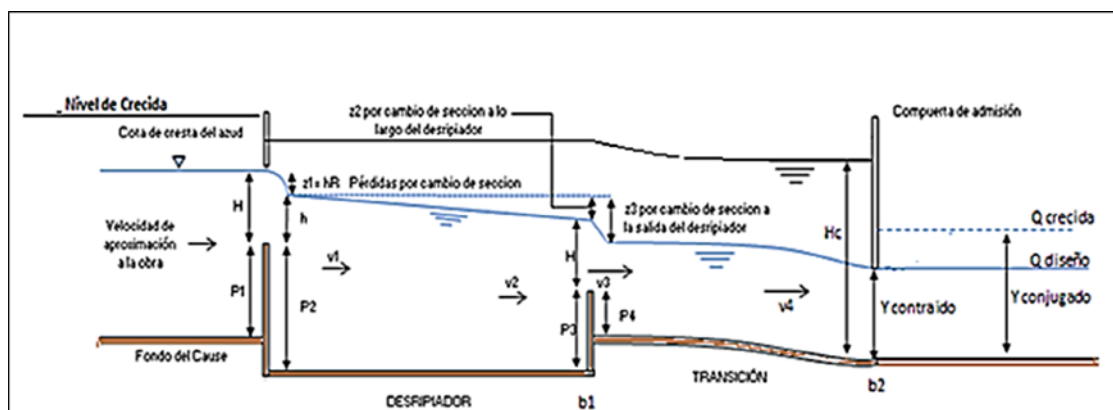
**Fuente:** Manual de diseño a Nivel de Prefactibilidad para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Luzuriaga (2005)

### 3.1.3.4 Regulación de Crecidas

La Captación debe diseñarse de tal forma que pueda permitir el paso de la crecida máxima sin sufrir ningún daño.

#### 3.1.3.4.1 Criterios de Diseño

- Se asume como Caudal de Crecidas al caudal de diseño incrementado un 20%.
- La Compuerta de admisión a la conducción y la reja de entrada funcionan y se diseñan como un orificio sumergido en crecidas.
- De ser necesario se debe colocarse una regulación adicional, ya sea con vertederos de excesos o con pantallas de hormigón sobre el nivel de agua en estiaje.

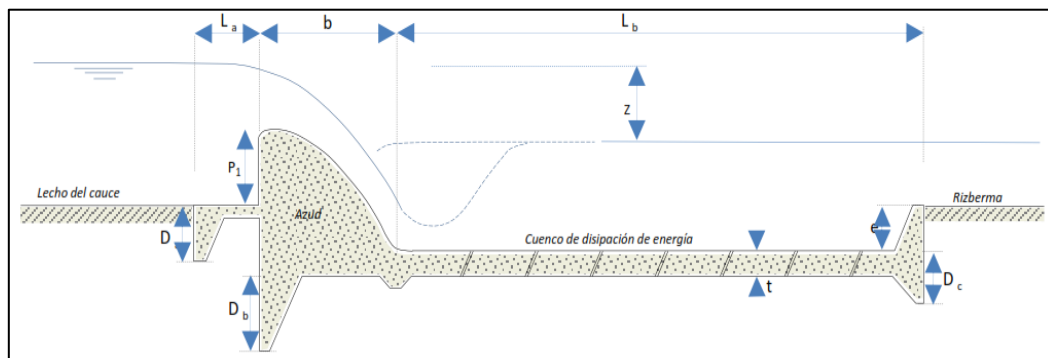


**Figura 40.** Comportamiento del Flujo en Crecidas

**Fuente:** Elementos de Diseño para una Captación Convencional. Pacheco (s.f)

### 3.1.3.5 Azud

“El Azud de derivación tiene una forma transversal trapezoidal ligeramente redondeada, lo que le ayuda a su estabilidad y otorga seguridad a la obra a la vez que facilita la circulación del agua” (Luzuriaga , 2005, p.113).



**Figura 41.** Esquema del Azud y Disipación de la Energía  
**Fuente:** Elementos de Diseño para una Captación Convencional. Pacheco (s.f)

#### 3.1.3.5.1 Criterios de Diseño

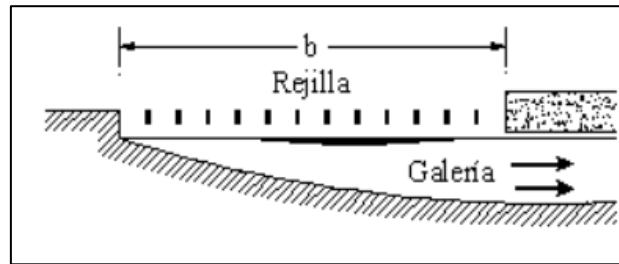
- El azud debe ser diseñado para evacuar el caudal de crecida determinado mediante el estudio hidrológico.
- Las obras de disipación deben ser construidas en hormigón armado y su diseño debe ser adecuadamente estudiado.
- Se debe chequear la estabilidad del azud verificándose al deslizamiento y volcamiento.

### 3.1.4 TOMA CON REJILLA DE FONDO

Se presenta a continuación las partes constitutivas de la Captación, con la respectiva función que desempeñan, los criterios de diseño que se emplean para su cálculo y algunas recomendaciones para su dimensionamiento.

#### 3.1.4.1 Rejilla de Captación

Su función es impedir el ingreso de material sólido a la galería. Es importante mencionar que el ancho de la rejilla no necesariamente debe ser igual al ancho del azud (ancho del río).



**Figura 42.** Esquema de la Rejilla de Fondo

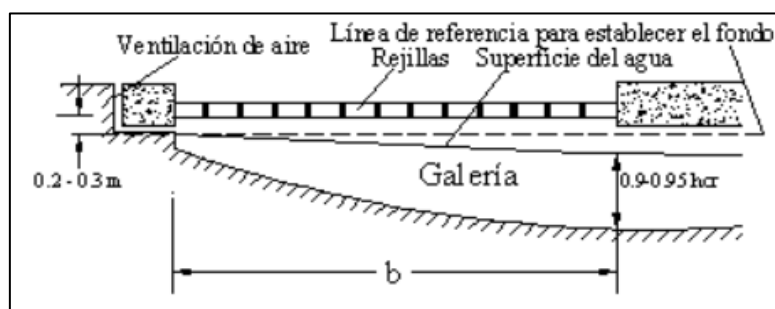
**Fuente:** Manual de diseño a Nivel de Prefactibilidad para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Luzuriaga (2005)

#### 3.1.4.1.1 Criterios de Diseño

- La rejilla se hace de barras de hierro de sección rectangular (pletina) o trapezoidal con la base mayor hacia arriba. El uso de barras redondas ocasiona que se obstruya más rápidamente con arena y piedra fina, además de ser más difíciles de limpiar.
- Una desventaja de las pletinas es su posibilidad de deformarse o ceder en el sentido horizontal. Para evitar esto se usan a veces barras en forma de T. A veces también en vez de barrotos se usan planchas perforadas con orificios redondos. Estas disposiciones obligan a aumentar considerablemente las dimensiones brutas de las rejillas.
- También a veces se han usado rejillas dobles, una gruesa encima y una fina debajo.
- En los bordes, las barras están sujetas a un marco de hierro y a veces la mitad de las barras pueden girar fácilmente para facilitar la limpieza (Krochin, 1986, p.95).
- No se debe diseñar para torrentes o ríos de montaña en donde el caudal sea mayor de 10 m<sup>3</sup>/s.
- Las barras deben ir direccionadas en sentido de la corriente.
- La separación entre las barras varía de 2 a 6 cm.
- El ángulo de inclinación  $\alpha$  de las rejillas con respecto a la horizontal debe estar comprendido entre los 0° y los 20°. Según Bouvard se podría llegar desde los 30° a los 40° (Luzuriaga, 2005, p.135).

### 3.1.4.2 Galería

Su función es recolectar el agua captada por la rejilla y dirigirla hacia la conducción.



*Figura 43.* Galería de una Toma de Fondo

**Fuente:** Manual de diseño a Nivel de Prefactibilidad para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Luzuriaga (2005)

#### 3.1.4.2.1 Criterios de Diseño

- La sección transversal de este canal colector puede ser rectangular o trapezoidal, pero manteniendo el ancho en la parte superior ( $L$ ) constante. Generalmente se la considera rectangular.
- El flujo en el canal colector o galería debe ser subcrítico, es decir  $FR < 1$ .
- El agua en el canal debe estar siempre circulando como un flujo libre, y se recomienda que en el inicio el espacio libre entre la superficie del agua y el fondo del canal esté entre los 0.20 – 0.30 m, al igual que la distancia entre la superficie del agua y la rejilla (Luzuriaga, 2005, p.145).

## 3.2 CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DE ESTRUCTURAS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL

Se presentan a continuación los criterios de diseño y aspectos técnicos para el dimensionamiento de cada una de las estructuras de medición de caudal, así como algunas recomendaciones para su correcto funcionamiento.

### 3.2.1 VERTEDEROS

Se consideran las estructuras más usadas para la medición del caudal que fluye por un canal en los distritos de riego. Según su forma, cada vertedero tiene características propias de funcionamiento hidráulico, así como criterios de diseño específicos para cada caso.

“La selección del tipo y dimensiones del vertedor debe estar basada en primera instancia en el rango de fluctuación de caudal que tiene el canal, o en la precisión que se desee en la determinación del caudal” (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA); Comisión Nacional del Agua (CNA), 2001, p.2).

#### 3.2.1.1 Criterios de Diseño Generales para medir caudales mediante Vertederos

- El primer y más importante punto para una buena y confiable medición de caudales con un vertedero es la apropiada selección del tipo de vertedero. Una recomendación para seleccionar el tipo de vertedor de cresta delgada en función del gasto máximo que circula en un canal es:
  - Para un gasto mayor a 300 l/s se puede instalar un vertedor rectangular o Cipolletti.
  - Para un gasto entre 300 l/s a 30 l/s se puede instalar un vertedor rectangular, Cipolletti o triangular.
  - Para un gasto menor a 30 l/s es recomendable la instalación de un vertedor triangular (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA); Comisión Nacional del Agua (CNA), 2001,p.4).
- En los vertederos en pared delgada la cresta debe ser aguda, recta y horizontal. El vertedero debe colocarse normalmente a la dirección de las líneas de corriente.
- Para efectos de una buena conservación se recomienda que la cresta sea de bronce

- El vertedero debe colocarse perfectamente vertical y su cara de aguas arriba debe mantenerse lisa.
- Si las condiciones de aproximación del flujo no son tranquilas debe colocarse elementos disipadores de energía, es decir tranquilizadores, como pantallas, ladrillos huecos, mallas, etc.
- La carga debe medirse a una distancia de aproximadamente cuatro veces la carga (4H) (Rocha, 2007, pp.486-487).

### 3.2.1.2 Vertedero Rectangular

#### 3.2.1.2.1 Vertedero Rectangular sin contracciones

“Un vertedor de pared delgada sin contracción lateral es aquel cuya longitud de cresta coincide con el ancho del canal rectangular en donde está instalado” (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA, 1988, p.15).

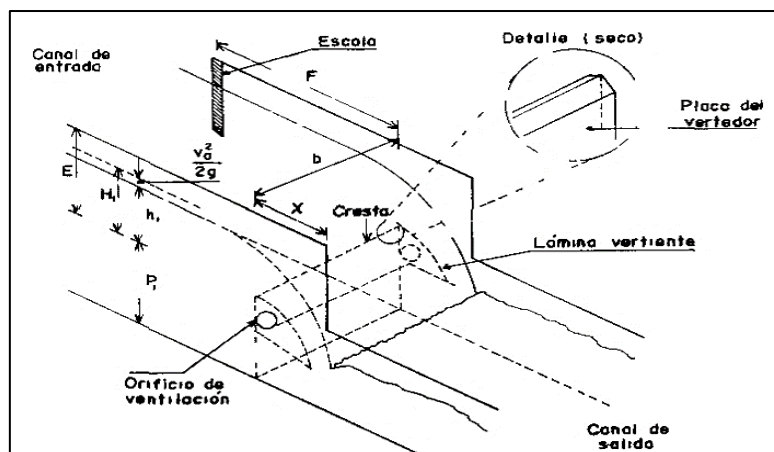
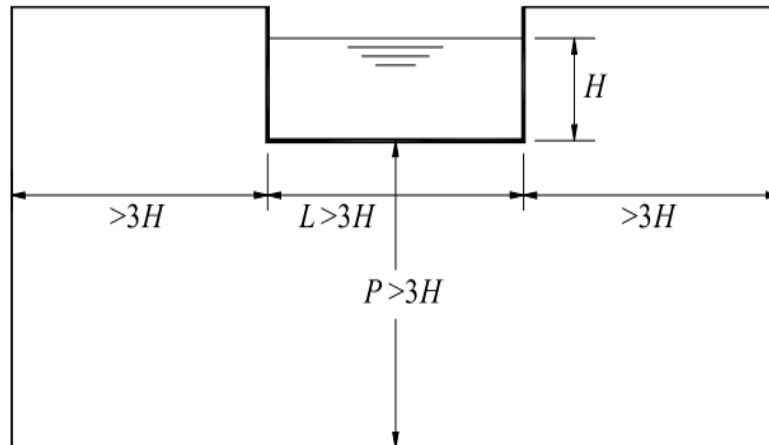


Figura 44. Vertedero Rectangular sin contracciones

Fuente: Manual de diseño de estructuras de aforo. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (1988)

#### 3.2.1.2.2 Vertedero Rectangular con contracciones

Para un vertedero rectangular con contracciones existen recomendaciones con respecto a las dimensiones mínimas que se debe cumplir (figura 45).

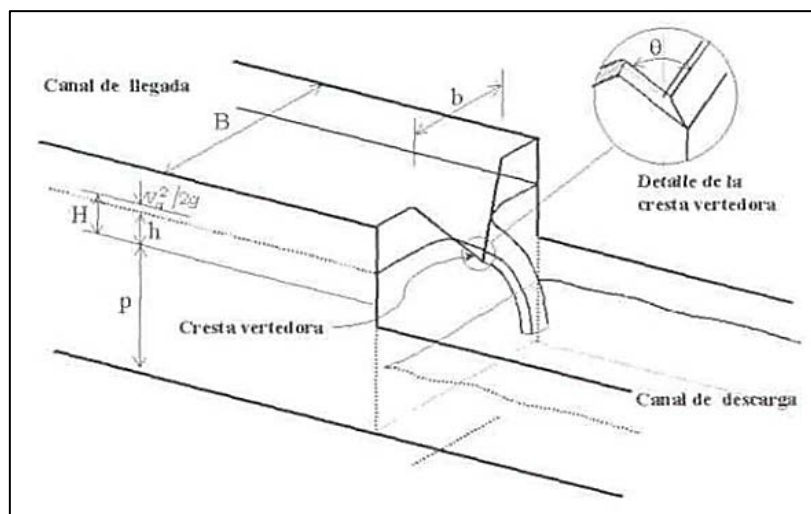


**Figura 45.** Dimensiones mínimas para un Vertedero Rectangular con Contracciones  
**Fuente:** Hidráulica de Tuberías y Canales. Rocha (2007)

Se observa que la longitud  $L$  del vertedero, el umbral  $P$  y la distancia a las paredes del canal debe ser por lo menos igual al triple de la máxima carga sobre el vertedero. En estas condiciones la velocidad de aproximación será despreciable (Rocha, 2007,p.486).

### 3.2.1.3 Vertedero Triangular

Considerado el más preciso para la medición de pequeños caudales. Mojarro y Robles Rubio (2007) afirman: “Los vertederos triangulares de 90 grados dan la mayor precisión cuando se trata de medir descargas pequeñas de menos de 30 l/s. Son útiles para medir fluctuaciones en los gastos, su máxima descarga es de 300 l/s” (p.227).



**Figura 46.** Medición de Caudal mediante un Vertedero Triangular

**Fuente:** Vertederos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA); Comisión Nacional del Agua (CNA) (2001)

Según el ángulo  $\Theta$  que forma el vertedero, Rocha (2007) propone las fórmulas indicadas en la figura 46 para el cálculo del caudal de descarga.

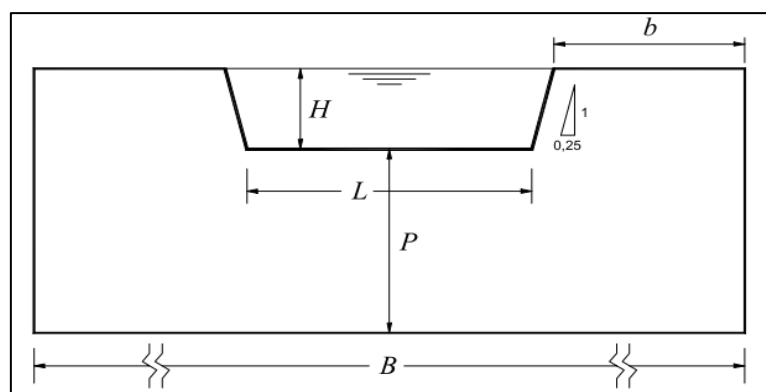
Para 15°	$Q = 0,2H^{\frac{5}{2}}$	(para $H \geq 0,25$ m)
Para 30°	$Q = 0,392H^{\frac{5}{2}}$	(para $H \geq 0,205$ m)
Para 45°	$Q = 0,596H^{\frac{5}{2}}$	(para $H \geq 0,185$ m)
Para 60°	$Q = 0,818H^{\frac{5}{2}}$	(para $H \geq 0,17$ m)
Para 90°	$Q = 1,386H^{\frac{5}{2}}$	(para $H \geq 0,14$ m)
Para 120°	$Q = 2,471H^{\frac{5}{2}}$	(para $H \geq 0,12$ m)

**Figura 47.** Fórmulas de Descarga de un Vertedero Triangular  
**Fuente:** Hidráulica de Tuberías y Canales. Rocha (2007)

### 3.2.1.4 Vertedero Trapezoidal

El vertedero Trapezoidal propuesto por el Ing. Cipolletti debe cumplir ciertas condiciones para su correcto funcionamiento:

- La carga debe ser mayor que 6 cm, pero debe ser inferior a 3L.
- La altura P del umbral debe ser mayor que el doble de la máxima carga sobre el vertedero.
- La distancia b debe ser mayor que el doble de la máxima carga.
- El ancho del canal de aproximación debe estar comprendido entre 30H y 60H.
- La carga debe medirse a una distancia de 4H del vertedero.



**Figura 48.** Vertedero Trapezoidal Cipolletti  
**Fuente:** Hidráulica de Tuberías y Canales. Rocha (2007)

### **3.2.2 AFORADORES DE REGIMEN CRITICO**

#### **3.2.2.1 Aforador de Garganta Larga**

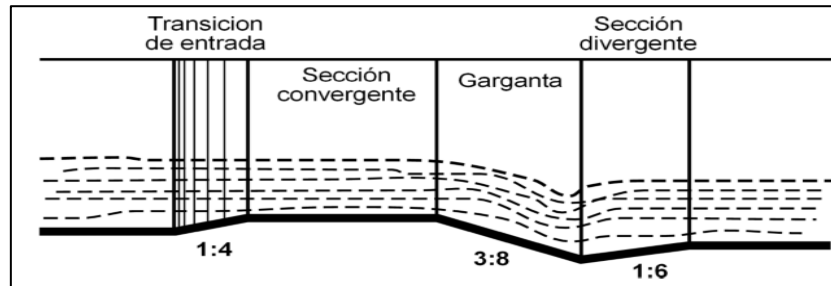
En este tipo de aforadores el flujo es virtualmente paralelo a la garganta. Algunas características importantes de estos aforadores son:

- La sección de la garganta puede diseñarse de tal manera que permita medir con exactitud el rango completo de gastos esperados.
- La pérdida de energía es mínima y le corresponde una relación única entre la carga hidráulica aguas arriba, medida con respecto a la base de la garganta y el gasto.
- No se tiene problemas con respecto a los sedimentos y materiales flotantes, ya que poseen una transición adecuada.
- Estos aforadores resultan, para gastos grandes, los más baratos en construcción para aforos exactos.

#### **3.2.2.2 Aforador de Garganta Corta Parshall**

Este aforador de régimen crítico consta de 3 secciones bien definidas, cada una con sus respectivas recomendaciones para el dimensionamiento, como se muestra en la figura 49:

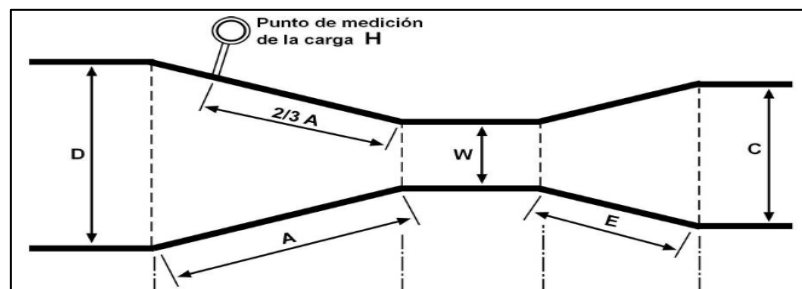
- Una sección convergente en su extremo aguas arriba, nivelada en los dos sentidos. El fondo es horizontal y el ancho va disminuyendo.
- Una sección reducida o garganta, inclinada hacia abajo con una pendiente de 3:8 (3 vertical y 8 horizontal)
- Una sección divergente aguas abajo, inclinada hacia arriba con una pendiente de 1:6 (1 vertical y 6 horizontal).



**Figura 49.** Perfil del Aforador Parshall y las pendientes recomendadas  
**Fuente:** Medidores de Flujo en Canales Abiertos. Lux Monroy (2010)

### 3.2.2.2.1 Puntos de Medición de Carga de Agua

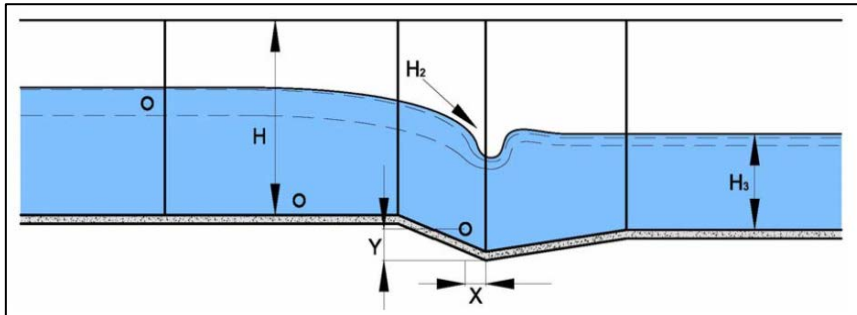
La única medida de carga  $H$  necesaria para conocer el caudal, se hace en la sección convergente, en un punto que se localiza a  $2/3$  de la dimensión  $B$  o a  $2/3$  de  $A$ . En este punto se mide el tirante de agua con una regla o se instala junto a la pared una escala para lecturas (Lux Monroy, 2010, p.28).



**Figura 50.** Punto de Medición de la carga de agua  
**Fuente:** Medidores de Flujo en Canales Abiertos. Lux Monroy (2010)

En el caso del flujo libre es suficiente medir la carga  $H$  para determinarse el caudal.

Si el medidor es ahogado, será necesario medirse también, una segunda carga  $H_2$ , en un punto próximo a la sección final de la garganta, con el objeto de hallar el porcentaje de sumergencia ( $H_2/H$ ).



**Figura 51.** Medida de la Carga de agua en un Aforador Parshall Sumergido

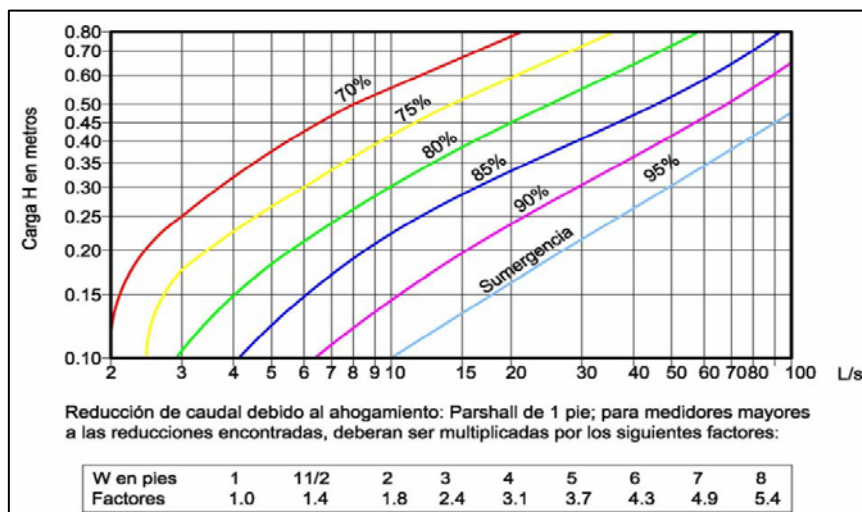
**Fuente:** Modernización De La Enseñanza Aprendizaje En La Asignatura De Hidráulica II (Civ 230). Gálvez y Camacho (2006)

Al funcionar como un aforador ahogado, se debe aplicar una corrección para el cálculo del flujo, entonces:

$$\text{Caudal real} = \text{Descarga libre} - \text{Corrección por ahogamiento}$$

$$\text{Corrección por ahogamiento} = \text{Factor} * \text{Caudal de Corrección (Figura 52)}$$

En la Figura 52 se da las correcciones del caudal en L/s, en función del porcentaje de sumergencia, para medidores de 1 pie ( $W = 1'$ ). Para medidores mayores, se encuentran, en el mismo ábaco, los coeficientes relativos que deberán ser tomados en cuenta (Gálvez & Camacho, 2006, p.203).



**Figura 52.** Ábaco de valores de corrección para medidores ahogados

**Fuente:** Modernización De La Enseñanza Aprendizaje En La Asignatura De Hidráulica II (Civ 230). Gálvez y Camacho (2006)

Para la selección del tamaño del aforador se recomienda basarse en la siguiente tabla, en donde según el ancho de garganta “W” se establece un rango de caudales para la medición.

Ancho de la garganta W (mm)	Intervalo de descarga		Ecuación del gasto Q (m <sup>3</sup> /s), h <sub>1</sub> (m)	Intervalo de carga hidráulica		Grado de sumergencia S=h <sub>v</sub> /h <sub>1</sub>
	Q <sub>min</sub> (l/s)	Q <sub>max</sub> (l/s)		h <sub>1</sub> min (m)	h <sub>1</sub> max (m)	
76.2	0.77	32.1	0.177h <sub>1</sub> <sup>1.550</sup>	0.030	0.33	0.5
152.4	1.50	111.1	0.381h <sub>1</sub> <sup>1.580</sup>	0.030	0.45	0.6
228.8	2.50	251.0	0.535h <sub>1</sub> <sup>1.530</sup>	0.030	0.61	0.6
304.8	3.32	457.0	0.691h <sub>1</sub> <sup>1.520</sup>	0.030	0.76	0.7
457.2	4.80	695.0	1.056h <sub>1</sub> <sup>1.538</sup>	0.030	0.76	0.7
609.6	12.10	937.0	1.428h <sub>1</sub> <sup>1.550</sup>	0.046	0.76	0.7
914.4	17.60	1427.0	2.184h <sub>1</sub> <sup>1.566</sup>	0.046	0.76	0.7
1219.2	35.80	1923.0	2.953h <sub>1</sub> <sup>1.578</sup>	0.060	0.76	0.7
1524.0	44.10	2424.0	3.732h <sub>1</sub> <sup>1.587</sup>	0.076	0.76	0.7
1828.8	74.10	2929.0	4.519h <sub>1</sub> <sup>1.595</sup>	0.076	0.76	0.7
2133.6	85.80	3438.0	5.312h <sub>1</sub> <sup>1.601</sup>	0.076	0.76	0.7
2438.4	97.20	3949.0	6.112h <sub>1</sub> <sup>1.607</sup>	0.076	0.76	0.7

**Figura 53.** Rango de Caudales según el ancho de la garganta del Aforador Parshall

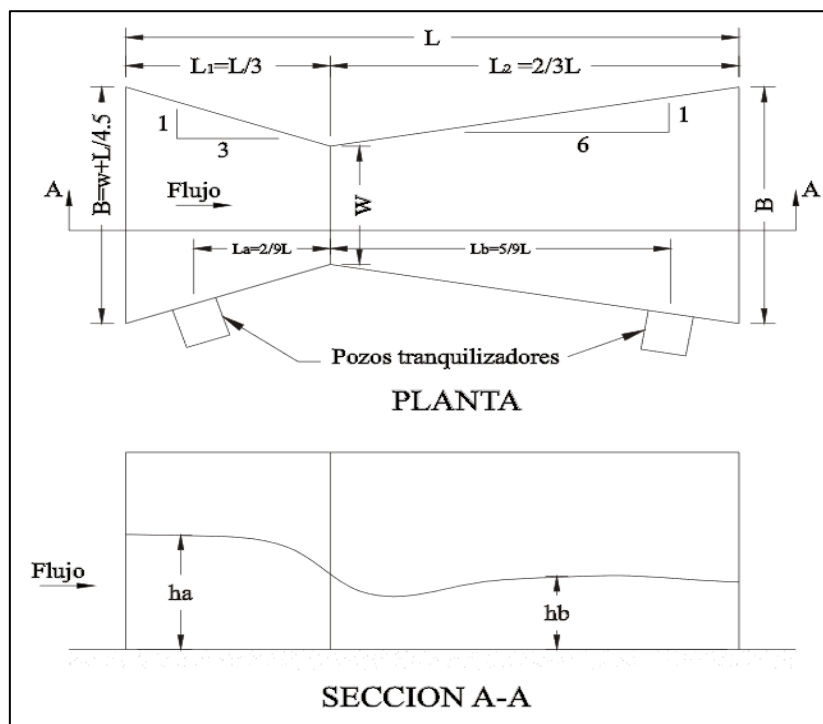
**Fuente:** Calibración de Estructuras Hidráulicas de Medición. Proyecto Subsectorial de Irrigación (2004)

### 3.2.2.3 Aforador de Garganta Cortada

“Es un medidor con garganta reducida a una simple arista y plantilla horizontal, sus características son las siguientes: Sección rectangular, convergencia 3:1 en la entrada y 6:1 en la salida” (Kennedy et al., 1992, p.103).

La construcción resulta más fácil debido a su plano horizontal y la desaparición de la sección de la garganta.

Las dimensiones recomendadas, así como los puntos de medición de la carga de agua se muestran en la figura 54.



**Figura 54.** Dimensiones recomendadas del Aforador de Garganta Cortada

**Fuente:** Calibración de Estructuras Hidráulicas de Medición. Proyecto Subsectorial de Irrigación (2004)

Una característica de este aforador es que la sección de entrada coincide con la sección de salida y a ambas se le denota por la variable B.

### 3.2.2.4 Aforador RBC

Se diseñaron para la medición de caudal en pequeños canales de tierra y surcos de riego.

En la siguiente figura, se presentan algunos diseños de estos aforadores según la gama de caudales a medir.

Anchura de la garganta, $b_c$ (medida exacta)	Longitud de la garganta, L	Gama aproximada de caudales a medir (litros/s)		Aproximada pérdida de carga requerida
		(min.)	(max.)	
(mm)	(mm)			(mm)
50	75	0,03	1,5	10
75	112,5	0,07	4,3	15
100	150	0,16	8,7	20
150	225	0,40	24	30
200	300	0,94	49	40

**Figura 55.** Dimensiones de los Aforadores RBC según la gama de caudales a medir

**Fuente:** Aforadores de caudal para canales abiertos. Bos, Replogle y Clemmens (1986)

## CAPITULO IV

### 4 APLICACIÓN DE LAS HOJAS DE CÁLCULO EN EL DISEÑO

#### 4.1 ASPECTOS GENERALES DE LAS HOJAS DE CÁLCULO

Las Hojas de Cálculo desarrolladas para el diseño de las Obras Hidráulicas en estudio tienen un formato general bien definido, para el correcto uso de las mismas, es necesario regirse a los aspectos que se detallan a continuación:

- **Ingreso de Datos:** Se deben ingresar datos únicamente en las celdas con el siguiente formato:



Es importante señalar que algunas celdas de este tipo tienen comentarios, los mismos que sirven para indicar algunas recomendaciones sobre las dimensiones a ingresarse para el cálculo; tienen el siguiente formato:



- **Formulación de Diseño:** Con el propósito de que las hojas de cálculo sean de fácil manejo y comprensión, en cada una de ellas se detalla las fórmulas empleadas para el diseño. Presentan el siguiente formato:



- **Cálculos y Resultados:** Estas celdas reflejan un cálculo automático, debido a que contienen formulas, por lo que no deben ser manipuladas por el usuario. Están representadas por el siguiente formato:

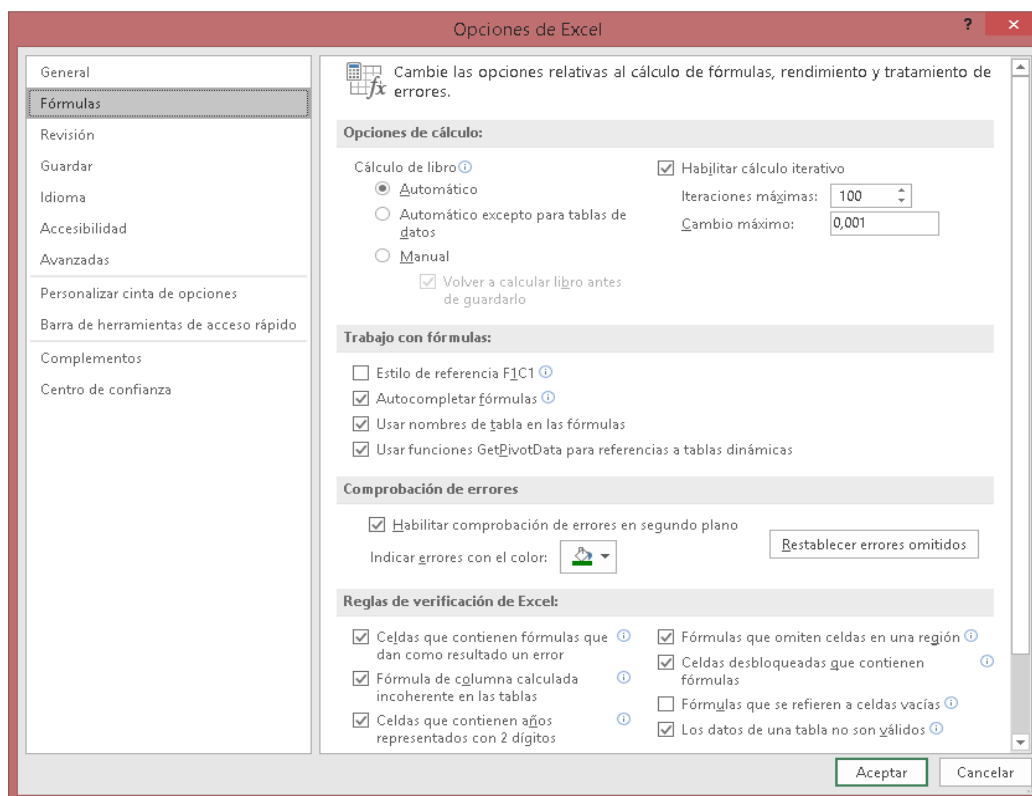


- **Celdas para Verificación de Condiciones:** Estas celdas devuelven un aviso indicando el cumplimiento de una condición. Su formato es el siguiente:



## 4.2 TOMA CONVENCIONAL

Para el uso de la hoja de cálculo se debe habilitar el cálculo iterativo, para habilitarlo nos dirigimos a la pestaña Archivo - Opciones – Fórmulas y se abrirá el siguiente cuadro en donde se debe activarlo.



Fuente: Elaboración Propia

Para empezar con el diseño se debe ingresar los siguientes datos de entrada:

DATOS GENERALES DE ENTRADA			
Caudal de diseño	Qd	1	m <sup>3</sup> /s
Caudal promedio	Qp	10	m <sup>3</sup> /s
Caudal de crecida	Qc	50	m <sup>3</sup> /s
Pendiente del río	ir	0,01	
Ancho del río	Brio	15	m
Velocidad media del Río	VR	0,5	m/s

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.1 DISEÑO DE LA REJILLA DE CAPTACIÓN

Se ingresan los datos que se muestran a continuación:

DATOS DE ENTRADA PARA EL CALCULO DE LA REJILLA		
Alto de la reja de entrada	H	0,6 m
Distancia desde el umbral de la reja hasta el fondo del río.(aguas arriba de la reja)	P <sub>1</sub>	0,8 m
Distancia desde el umbral de la reja hasta el fondo del desripador. (aguas abajo de la reja)	P <sub>2</sub>	0,74 m
Ancho de barrotes	b <sub>1</sub>	0,07 m
Espacio entre barrotes	b <sub>2</sub>	0,13 m
Coefficiente de perdidas según la forma del barrote	kr	2,42
Angulo de inclinacion de barrotes	δ	90
Espesor del muro	e	0,1 m
Coefficiente de correccion de perdidas	β	2,5

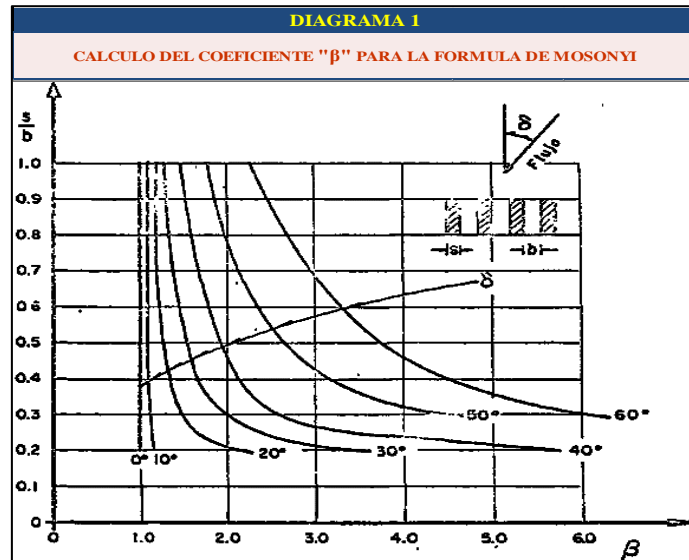
Fuente: Elaboración Propia

Según la forma de los barrotes de la rejilla ingresamos el coeficiente Kr, haciendo uso de la Tabla 1.

TABLA 1							
COEFICIENTE "Kr" PARA LA FORMULA DE KIRSCHMER							
COEFICIENTE	A	B	C	D	E	F	G
Kr	2,42	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,79
FORMA DE LOS BARROTES							

Fuente: Elaboración Propia

De igual manera se ingresa el valor del Coeficiente “β” según el Diagrama 1, el mismo que se basa en la relación del espesor y separación de barrotes y el ángulo “α” formado entre la rejilla y el río.



Fuente: Elaboración Propia

Se debe verificar que cumpla las condiciones de partida para el diseño de la rejilla, las celdas están programadas para devolver de forma automática el cumplimiento de las condiciones.

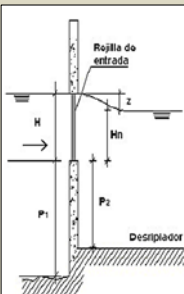
CONDICIONES DE PARTIDA				
<b>Vertedero de Pared Delgada</b>				
$H/e > 1,5$	6	>	1,5	CUMPLE
<b>Vertedero (Rejilla) Sumergido</b>				
$(P_1 + Hn) > P_2$	1,34	>	0,74	CUMPLE
$(Z / P_2) < 0.7$	0,08	<	0.7	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

El dimensionamiento de la rejilla se basa en la ecuación para el cálculo del caudal de un vertedero sumergido. Para esta fórmula, el programa calcula los coeficientes de sumersión y de descarga y concluye con el cálculo del ancho de la rejilla y el respectivo número de barrotes.

**DIMENSIONAMIENTO DE LA REJILLA**

$Q = S * Mo * b * (H - hr)^{\frac{3}{2}}$



COEFICIENTE DE SUMERSION "S"	COEFICIENTE DE DESCARGA "Mo"
Según Bazin	Según Bazin
$S = 1,05 * (1 + 0,2 \frac{Hn}{P2}) * (\frac{z}{H})^{\frac{1}{3}}$	$Mo = [1,794 + \frac{0,0133}{H}] * [1 + 0,55 (\frac{H}{H+P1})^2]$
Según Villemonte	Según Konovalov
$S = [(1 - \frac{Hn}{H})^{\frac{3}{2}}]^{0,385}$	$Mo = [0,407 + 0,045 \frac{H}{H+P1}] * [1 + 0,285 (\frac{H}{H+P1})^2] * \sqrt{2g}$

CÁLCULO COEFICIENTES	Según Bazin	Según Villemonte y Konalov	Promedio
Coficiente de Sumersion "S"	0,558	0,477	0,52
Coficiente de Descarga "Mo"	2,000	2,053	2,03

**CALCULO DE LA PERDIDA DE CARGA "hr" SEGÚN VARIOS AUTORES**

Criterio	Autor	Cálculo	Formula	Resultado	Valor "hr" según criterio	PROMEDIO
1	KIRSCHMER	PERDIDA DE CARGA PARA REJILLAS PARCIALMENTE SUMERGIDAS	$hr = Kr * \frac{b1^{4/3}}{b2} * \sin \delta * \frac{v0^2}{2 * g}$	0,0136	0,0340	0,0274
	MOSONYI	PERDIDA DE CARGA CORREGIDA POR INFLUENCIA DEL ANGULO DE LOS BARROTES	$hr^* = hr * \beta$	0,0340		
2	CREAGER	PERDIDA DE CARGA PARA REJILLAS COMPLETAMENTE SUMERGIDAS	$Kr = 1.45 - 0.45 (\frac{an}{ag}) - (\frac{an}{ag})^2$	0,71	0,0208	
		PERDIDA DE CARGA PARA REJILLAS PARCIALMENTE SUMERGIDAS	$hr = kr * \frac{v^2}{2 * g}$	0,0208		

**DIMENSIONAMIENTO DE LA REJILLA**

Cálculo	Formula	Resultado
ANCHO EFECTIVO	$b = \frac{Qd}{S * Mo * H^{\frac{3}{2}}}$	2,20
NÚMERO DE BARROTES	$n = \frac{b}{b2} - 1$	16
ANCHO TOTAL	$B = b + nb1$	3,32
VELOCIDAD DE APROXIMACION	$v0 = \frac{Qd}{B * H}$	0,50
COMPROBACION CAUDAL DE DISEÑO	$Qd = S * Mo * b * (H - hr)^{\frac{3}{2}}$	1,00

**Fuente:** Elaboración Propia

Al final se presenta un grafico con las dimensiones definitivas de la rejilla:



**Fuente:** Elaboración Propia

## 4.2.2 DISEÑO DEL DESRIPIADOR Y COMPUERTA DE LAVADO

### 4.2.2.1 Diseño del Desripiador

Se realizan unos cálculos previos al dimensionamiento del desripiador, los mismos que se ejecutan de manera automática.

CALCULOS PREVIOS AL DISEÑO DEL DESRIPIADOR			
Altura de agua sobre el vertedero del desripiador	$H_v$	0,54	m
Altura medida desde el umbral del vertedero y la altura aguas abajo	$H_{n'}$	0,48	
Distancia desde la cresta del vertedero del desripiador al fondo del mismo.(aguas arriba del vertedero del desripiador)	$P_3$	0,74	m
Desnivel entre las superficies de agua	$Z_2$	0,06	m
Distancia desde la cresta del vertedero del desripiador al fondo de la transición.(aguas abajo del vertedero del desripiador)	$P_4$	0,68	m
Velocidad en el punto 0	$V_0$	0,22	m/s

Fuente: Elaboración Propia

Se calcula el Coeficiente de sumersión y de descarga, correspondientes a la fórmula de Caudal de un vertedero sumergido.

CÁLCULO COEFICIENTES	Según Bazin	Según Villemonte y Konalov	Promedio
Coeficiente de Sumersion "S"	0,576	0,496	0,54
Coeficiente de Descarga "Mo"	1,997	2,06	2,03

Fuente: Elaboración Propia

Se determina las longitudes conjugadas del resalto hidráulico que se forma en el desripiador, así como la longitud del mismo y el ancho de su vertedero.

Cálculo	Fórmula	Resultado
ANCHO DEL VERTEDERO DEL DESRIPIADOR	$bv = \frac{Qd}{S * Mo * H^2}$	2,32
ALTURA CONJUGADA Y1 (MEDIANTE RESOLUCIÓN DE LA ECUACION DE BERNOULLI)	$(H + P1) + \frac{P0}{\gamma} + \frac{V0^2}{2g} = Y1 + \frac{P1}{\gamma} + \frac{V1^2}{2g}$ $-1,375 = Y1 + 0,0046/Y1^2$	0,06
NÚMERO DE FROUDE	$Fr = \sqrt{\frac{Qd^2}{9.81 * B^2 * y1^3}}$	7,09
ALTURA CONJUGADA Y2	$Y2 = \frac{Y1}{2} * (-1 + \sqrt{1 + 8Fr^2})$	0,54
LONGITUD DEL DESRIPIADOR	$L = \frac{B - bv}{2 \tan 12.5}$	2,27

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se calcula la longitud del resalto hidráulico, usando el criterio de 3 autores, con el objeto de obtener un resultado promedio y a su vez conservador.

CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL RESALTO "Lr" SEGÚN VARIOS AUTORES				
Criterio	Autor	Fórmula	Resultado	Promedio
1	SAFRANETZ	$Lr = 4.5Y2$	2,442	2,44
2	PAVLOVSKY	$Lr = 2.5(1.9Y2 - Y1)$	2,435	
3	BAKHMETEV - MAZTKE	$Lr = 5(Y2 - Y1)$	2,429	

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se comprueba que se forme el resalto hidráulico en el desripiador y se calcula la dimensión definitiva del desripiador.

COMPROBACIÓN DE CONDICIONES DE DISEÑO		
FORMACIÓN RESALTO HIDRAULICO SUMERGIDO	$Y2 < y$	CUMPLE
VALOR FINAL DE LA LONGITUD DEL DESRIPIADOR LONGITUD DEL DESRIPIADOR > LONGITUD DEL RESALTO	$L > Lr$	2,44

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.2.2 Diseño del Canal y Compuerta de Lavado

Se ingresan los siguientes datos de entrada:

DATOS DE ENTRADA			
Ancho de la Compuerta	b	1	m
Coefficiente de Rugosidad	n	0,025	
Constante para el cálculo del Caudal de la Compuerta	K	0,96	
Coefficiente en funcion de a/H (Tabla 2)	e	0,66	

Fuente: Elaboración Propia

Se efectúan algunos cálculos de forma automática previos al diseño.

CALCULOS PREVIOS AL DISEÑO			
Apertura de la Compuerta	a	0,74	m
Altura de Agua en la Compuerta	H	1,28	m
Relacion a/H	a/H	0,58	
Perimetro Mojado	P	2,48	m
Velocidad	Vo	1,35	m/s
Pendiente del Canal	i	✓ 0,01	
Comprobacion pendiente canal <pendiente del rio		Pendiente Correcta	

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se procede al cálculo del caudal de la compuerta de lavado, el mismo que tiene que ser mayor al Caudal de Diseño.

CALCULO DEL CAUDAL DE LA COMPUERTA		
CONDICION	FORMULA	RESULTADO
$Q_{\text{compuerta}} \geq Q_{\text{diseño}}$	$Q = K * e * a * b * \sqrt{2g * (H + \frac{Vo^2}{2g} - (e * a))}$	✓ 1,95
Cumple Condicion		

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se determina del tiempo necesario para el lavado del Desripiador.

CALCULO DEL TIEMPO DE LAVADO DEL DESRIPIADOR			
Caudal	Q	0,48	m <sup>3</sup> /s
Volumen	Vol	8,78	m <sup>3</sup>
Tiempo de Limpieza	t	0,31	minutos

Fuente: Elaboración Propia

### 4.2.3 DISEÑO DE LA TRANSICIÓN

Se ingresan los siguientes datos necesarios para el diseño de la transición:

DATOS DE ENTRADA			
Ancho del canal de salida de la transición	<b>bc</b>	1,2	m
Pendiente de diseño de la conducción	<b>i</b>	0,004	
Rugosidad	<b>n</b>	0,014	
Cota de la superficie del agua	<b>msnm</b>	1000	
constante para ensanchamiento o contracción	<b>C</b>	0,1	
Altura del vertedero al inicio de la transición	<b>P4</b>	0,68	
Altura aguas abajo de la Transición	<b>h</b>	1,22	

Fuente: Elaboración Propia

Se calcula el calado del canal de la conducción, así como la longitud de la Transición. Para determinar el calado del canal es necesario dar clic en el botón: **PRESIONAR AQUÍ PARA CALCULAR EL CALADO "Y"**.

Cálculo	Fórmula	Resultado	PRESIONAR AQUÍ PARA CALCULAR EL CALADO "Y"
CALADO DEL CANAL "Y"	0,0001558	0,45	
LONGITUD DE LA TRANSICIÓN	$L_T = \frac{b_v - b_c}{2 \tan 12.5}$	2,52	
RADIO DE PERFIL LATERAL DE LA TRANSICIÓN	$R = 1.183L_T$	2,98	

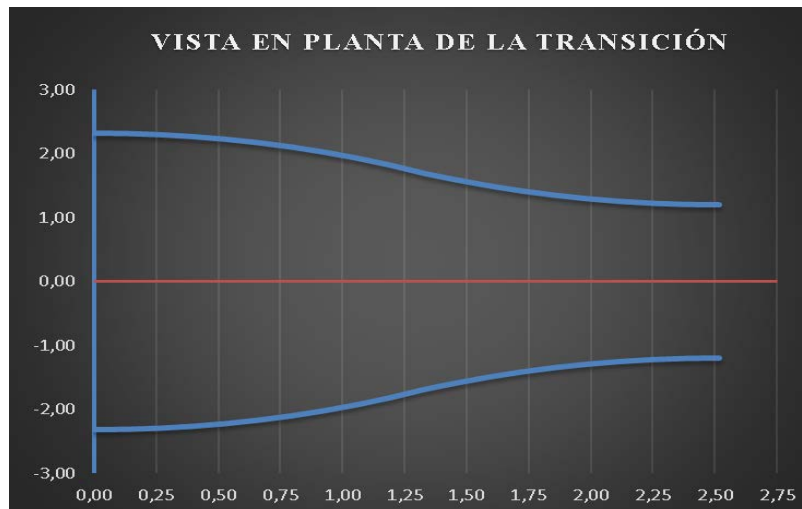
Fuente: Elaboración Propia

Se hallan las pérdidas por velocidad en la transición.

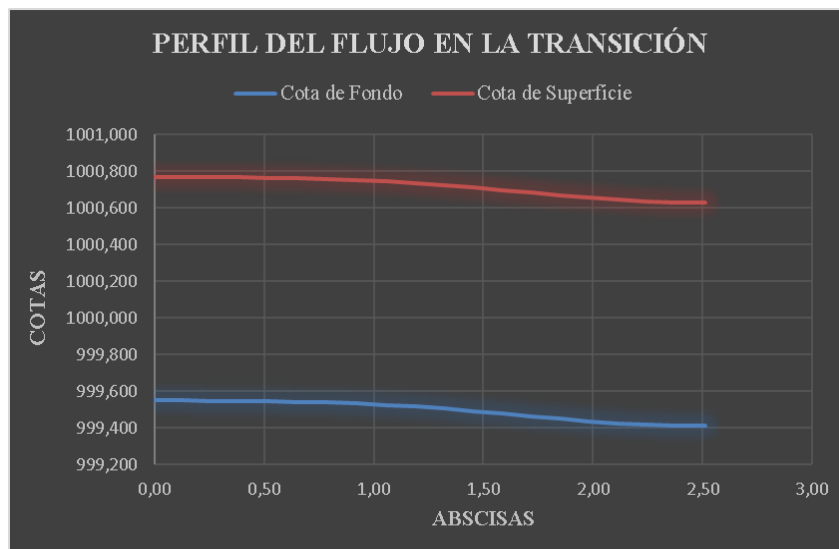
CÁLCULOS PREVIOS A LAS PERDIDAS DE LA TRANSICIÓN			
CÁLCULOS AL INICIO DE LA TRANSICION (AGUAS ARRIBA)			
Velocidad aguas arriba al inicio de la transición	<b>Vo</b>	0,34	m/s
Desnivel	<b>Zo</b>	0,07	
Condicion de Sumersión del Vertedero	<b>P4 &gt; Zo/0,7</b>	0,1	
<b>CUMPLE CONDICION</b>			
Altura mínima para el cálculo de las pérdidas	<b>h<sub>1</sub></b>	0,634	
Pérdidas por velocidad	<b>V<sup>2</sup>/2g</b>	0,024	
CÁLCULOS AL FINAL DE LA TRANSICION (AGUAS ABAJO)			
Pérdidas por velocidad	<b>V<sub>i+1</sub><sup>2</sup>/2g</b>	0,173	
CÁLCULO DE LAS PERDIDAS DE LA TRANSICIÓN			
Cálculo	Fórmula	Resultado	
DIFERENCIA ENTRE LAS PERDIDAS POR VELOCIDAD	$h_v = \frac{V_{i+1}^2 - V_i^2}{2g}$	0,15	
PERDIDA POR VELOCIDAD EN LA SUPERFICIE	$Z = (1 + C) * h_v$	0,16	

Fuente: Elaboración Propia

Como último, se determina el diseño de la transición tanto en planta como en perfil.



Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

## 4.2.4 DISEÑO DEL AZUD Y COMPROBACIÓN A CRECIDAS

### 4.2.4.1 Comprobación del Diseño con el Caudal de Crecida

Se ingresan los datos para el cálculo de la altura de la Transición en crecidas:

DATOS PARA EL CALCULO DE $H_T$		
Constante para el cálculo del Caudal de la Compuerta	<b>K</b>	0,96
Coefficiente en funcion de $a/H$	<b>e</b>	0,63

Fuente: Elaboración Propia

Se ejecutan los cálculos previos a la determinación de la altura de la transición en crecidas.

CALCULOS PREVIOS			
ALTURA AL FINAL DE LA TRANSICION			
Ancho del canal de salida de la transicion	bc	1,20	m
Pendiente de diseño de la conduccion	i	0,004	
Rugosidad	n	0,014	
Caudal de Crecida	Qdc	1,20	m <sup>3</sup> /s
ALTURA AL INICIO DE LA TRANSICION			
Diferencia de cotas	$\Delta z$	0,65	m
Velocidad al final de la transición	$V_2$	1,06	ms

Fuente: Elaboración Propia

Para determinar el calado del canal en crecidas es necesario dar clic en el botón: **PRESIONAR AQUÍ PARA CALCULAR EL CALADO "Y"**. La altura al final de la transición en crecidas queda determinada de la siguiente manera:

ALTURA AL FINAL DE LA TRANSICION EN CRECIDAS			PRESIONAR AQUÍ PARA CALCULAR EL CALADO "Y"
Cálculo	Fórmula	Resultado	
CALADO CON EL CAUDAL DE CRECIDA "Y Crecida"	0,0001967	0,52	
ALTURA "H <sub>r</sub> " EN CRECIDAS (Valor Previo)	$Q_{cd} = K * e * y * b_c * \sqrt{2g * (H_r + \frac{V_0^2}{2g} - y_{cr})}$	1,20	
ALTURA DEFINITIVA DE LA TRANSICION "H <sub>r</sub> " EN CRECIDAS	ITERACIONES	1,17	

Fuente: Elaboración Propia

La altura al inicio de la transición se calcula mediante la ecuación de Bernoulli:

ALTURA AL INICIO DE LA TRANSICION EN CRECIDAS		
ALTURA "Y <sub>i</sub> " AL INICIO DE LA TRANSICION EN CRECIDAS (MEDIANTE LA RESOLUCION DE LA ECUACION DE BERNOULLI)	$(\Delta + Y_i) + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - hf = H_r + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$	0,47
	$-0,60 y_1^2 + y_1^3 = 0,03$	

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se determina la altura del desripiador en crecidas.

ALTURA DEL DESRIPIADOR EN CRECIDAS			PRESIONAR AQUÍ PARA CALULAR ALTURA "Hv"
ALTURA "H <sub>v</sub> " CRECIDAS	0,0000050	0,53	
ALTURA TOTAL DESRIPIADOR "HD" EN CRECIDAS	$HD = H_v + a$	1,27	

Fuente: Elaboración Propia

Mediante iteraciones, se calcula la altura total de agua en la rejilla de captación en crecidas.

<b>ALTURA TOTAL DE AGUA EN LA REJILLA DE CAPTACION EN CRECIDAS</b>		
<b>ALTURA TOTAL "Htotal" REJILLA</b>	<b>ITERACIONES</b>	<b>2,45</b>

Fuente: Elaboración Propia

Por último, se determina el caudal que pasa sobre el azud y la correspondiente comprobación a crecidas.

<b>COMPROBACIÓN FINAL A CRECIDAS</b>		
<b>ALTURA DE AGUA "HA"</b>	$H_A = H_{total} - H - P_1$	<b>1,05</b>
<b>COEFICIENTE DE DESCARGA "M" EN FUNCION DE "HA"</b>	$M_0 = \left[ 1,794 + \frac{0,0133}{H} \right] * \left[ 1 + 0,55 \left( \frac{H}{H+P_1} \right)^2 \right]$	<b>1,99</b>
<b>CAUDAL SOBRE EL AZUD "QA"</b>	$QA = M * Brio * H_A^{3/2}$	<b>32,25</b>
<b>CAUDAL TOTAL DE CRECIDAS "QC"</b>	$QC = QA + Qdc$	<b>34,00</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.4.2 Diseño del Azud

Datos a ingresar para el diseño:

<b>DATOS DE ENTRADA PARA EL DISEÑO DEL AZUD</b>			
Peso específico del Material	$\gamma$	<b>3000,00</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
Constante designada por norma	<b>Kd1</b>	<b>1,20</b>	
Peso específico del agua	$\gamma_w$	<b>1000</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
Tipo de suelo ( Roca - Grava - Arena - Limo - Arcilla )		<b>Grava</b>	
Coefficiente De lane	<b>C</b>	<b>7,50</b>	

Fuente: Elaboración Propia

Se realizan los cálculos previos al diseño de la Azud.

<b>CÁLCULOS PREVIOS AL DISEÑO DEL AZUD</b>			
Ancho del Azud	<b>Bazud</b>	<b>15,00</b>	<b>m</b>
Altura del Azud	<b>Hazud</b>	<b>1,40</b>	<b>m</b>
Peso específico del Hormigon	$\gamma_h$	<b>2400</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
Velocidad Inicial al Azud	<b>vo</b>	<b>1,62</b>	<b>m/s</b>
Desnivel de aguas pasado el Azud	<b>Z</b>	<b>0,86</b>	

Fuente: Elaboración Propia

Se efectúan los cálculos para hallar el peso del azud con y sin dentellón, para luego comprobar la estabilidad del mismo.

Dimensionamiento según Taraimovich - Grazianski - Lane			
Longitud Total	L	6,42	m
Segunda Longitud	L2	2,14	m
Primera longitud	L1	2,16	m
Espesor del Zampeado del Azud	t	0,51	m
Espesor al Inicio del Azud	a	0,20	m
Espesor y Longitud del 1er dentellon	t2	0,51	m
Altura Conjugada Resalto	y2	1,28	m
Angulo del eje de falla del 1er dentellon	$\alpha$	31,25	
Peso del Azud Sin dentellon	W	8432,36	Kg
Fuerza de Empuje	E	2454,14	
Subpresion	S	1122,88	
Peso Del material de falla	T	4071,32	
Peso con dentellon	Wd	10018,09	Kg

Fuente: Elaboración Propia

Se determina si el azud cumple con la estabilidad al deslizamiento y al volcamiento.

COMPROBACION AL DESLIZAMIENTO			
<b>SIN DENTELLON</b>			
$K_d =$	$\frac{F \text{ resistentes}}{F \text{ actuantes}}$	RANGO 1,2 - 1,4	$K_d = 1,64$
Cumple para la estabilidad del azud sin dentellon			
<b>CON DENTELLON</b>			
$K_{d2} =$	$\frac{F \text{ resistentes}}{F \text{ actuantes}}$	RANGO 1,2 - 1,4	$K_d = 1,47$
Cumple para la estabilidad del azud sin dentellon			

Fuente: Elaboración Propia

COMPROBACION AL VOLCAMIENTO			
$K_v =$	$\frac{M_m. \text{ Resistentes}}{M_m. \text{ Actuantes}}$	RANGO 1,3 - 1,5	
<b>MOMENTOS ACTUANTES</b>			
Brazo de torcion Del peso del Azud desde PA	X1	1,48	
Brazo de torcion Del Empuje	YE	0,61	
Brazo de torcion de la Subpresion	X2	1,07	
$K_v =$	5,50		
La estructura cumple a volcamiento			

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se ingresa los respectivos datos y se verifica que el azud cumpla con la respectiva disipación de energía.

<b>DATOS ADICIONALES</b>		
Coficiente de Bazin	<b>M</b>	<b>2,20</b>
Altura aguas arriba	<b>Yo</b>	<b>0,95</b>
<b>CONSTANTES</b>		
<b>Constante en funcion de la Compuerta</b>		
Con compuerta	<b>0,85</b>	<b>0,95</b>
Promedio		<b>0,90</b>
Constante K	<b>promedio</b>	<b>0,90</b>
<b>Constante para el Calculo del Dentellón</b>		
Constante	<b>c</b>	<b>1,15</b>

Fuente: Elaboración Propia

<b>CALCULOS</b>		
Altura de crecida	<b>H</b>	<b>1,02</b>
1era altura del resalto	<b>Y1</b>	<b>0,40</b>
2da altura del resalto	<b>Y2</b>	<b>1,44</b>
Altura de crecida desde el pie del azud	<b>HT</b>	<b>2,42</b>
Altura del Azud	<b>Hazud</b>	<b>1,40</b>
Altura del dentellon	<b>e</b>	<b>0,71</b>
<b>Comprobación</b>		
Altura de crecida	<b>H</b>	<b>3,13</b>
1era altura del resalto	<b>Y1</b>	<b>0,34</b>
2da altura del resalto	<b>Y2</b>	<b>1,60</b>

Fuente: Elaboración Propia

<b><math>Y2 &lt; e + Y0 + z</math></b>
<b>Cumple con la disipacion de energia</b>

Fuente: Elaboración Propia

Luego de que el azud ha cumplido todas las verificaciones correspondientes, se procede a diseñar su perfil, el mismo que se basa en la teoría de Creager.

CALCULOS PARA EL DISEÑO DEL PERFIL		
Carga de Agua	Ho	1,53
Longitud del perfil azud	Laz	2,12
Volumen por metro	V	3,51
Area del Perfil del azud	A	1,97
Peso	W	8432,36
Area Total con el prediseño	AT	3,51
Centro de gravedad del Azud	X	1,32
Centro de gravedad del Peso Total	X1	1,48

Fuente: Elaboración Propia

Coordenadas Perfil del Azud	
y	x
1,40	0,00
1,40	0,11
1,39	0,21
1,37	0,32
1,34	0,42
1,31	0,53
1,27	0,63
1,23	0,74
1,18	0,85
1,12	0,95
1,05	1,06
0,98	1,16
0,90	1,27
0,81	1,37
0,71	1,48
0,61	1,59
0,50	1,69
0,39	1,80
0,27	1,90
0,14	2,01
0,00	2,12

Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

### 4.3 TOMA CON REJILLA DE FONDO

Se deben ingresar los siguientes datos para el diseño:

DATOS GENERALES DE ENTRADA			
Caudal de diseño	Qd	0,3	m <sup>3</sup> /s
Caudal medio	Q med	0,15	m <sup>3</sup> /s
Ancho del río	brio	2,5	m
Ancho del azud	b	25	m

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3.1 DISEÑO DE LA REJILLA DE CAPTACIÓN

Se ingresan los datos que se muestran a continuación:

DATOS DE ENTRADA PARA EL CÁLCULO DE LA REJILLA			
Número de Contracciones	n	2	
Ancho de barrotes	d	0,05	m
Separacion entre barrotes	a	0,1	m

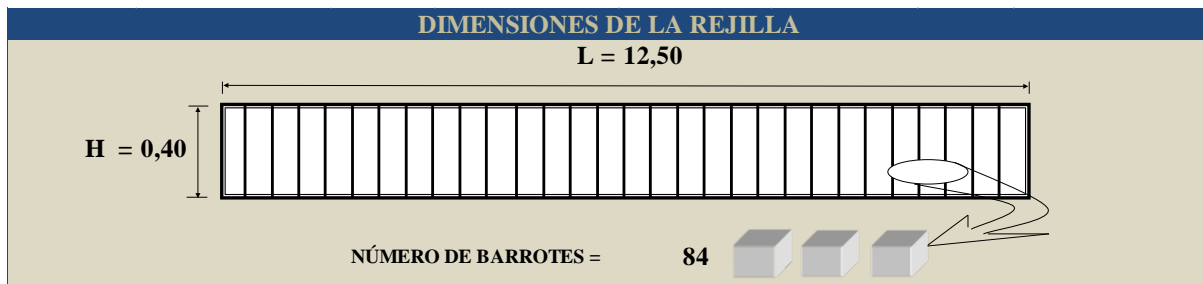
Fuente: Elaboración Propia

Se efectúan los cálculos correspondientes al dimensionamiento de la rejilla.

DIMENSIONAMIENTO DE LA REJILLA		
Cálculo	Formula	Resultado
ALTURA DE LA CARGA DE AGUA	$H = \left(\frac{Qd}{1.84 * b}\right)^{2/3}$	0,03
ANCHO DEL AZUD CORREGIDO	$b_c = b - 0.1nH$	24,99
VELOCIDAD DEL RÍO	$Vr = \frac{Qd}{b_c * H}$	0,34
ALCANCE DEL CHORRO SUPERIOR	$X_s = 0.36(Vr^{2/3}) + 0.6(H^{4/7})$	0,26
ALCANCE DEL CHORRO INFERIOR	$X_i = 0.18(Vr^{4/7}) + 0.74(H^{3/4})$	0,16
ANCHO DE LA REJILLA	$B = X_s + 0.1$	0,40
ÁREA NETA DE LA REJILLA	$An = \frac{Qd}{0.9 * 0.1}$	3,33
LONGITUD DE LA REJILLA	$Lr = \frac{An * (a + d)}{B * a}$	12,50
NÚMERO DE BARROTOS	$N = \frac{An}{B * a}$	84
ÁREA NETA CORREGIDA	$An_c = B * N * a$	3,36
LONGITUD DE LA REJILLA CORREGIDA	$Lr = \frac{An_c * (a + d)}{B * a}$	12,60

Fuente: Elaboración Propia

Por último, se presenta un gráfico con las dimensiones finales de la rejilla.



Fuente: Elaboración Propia

### 4.3.2 DISEÑO DEL CANAL COLECTOR O GALERÍA

Se ingresan los siguientes datos para el cálculo:

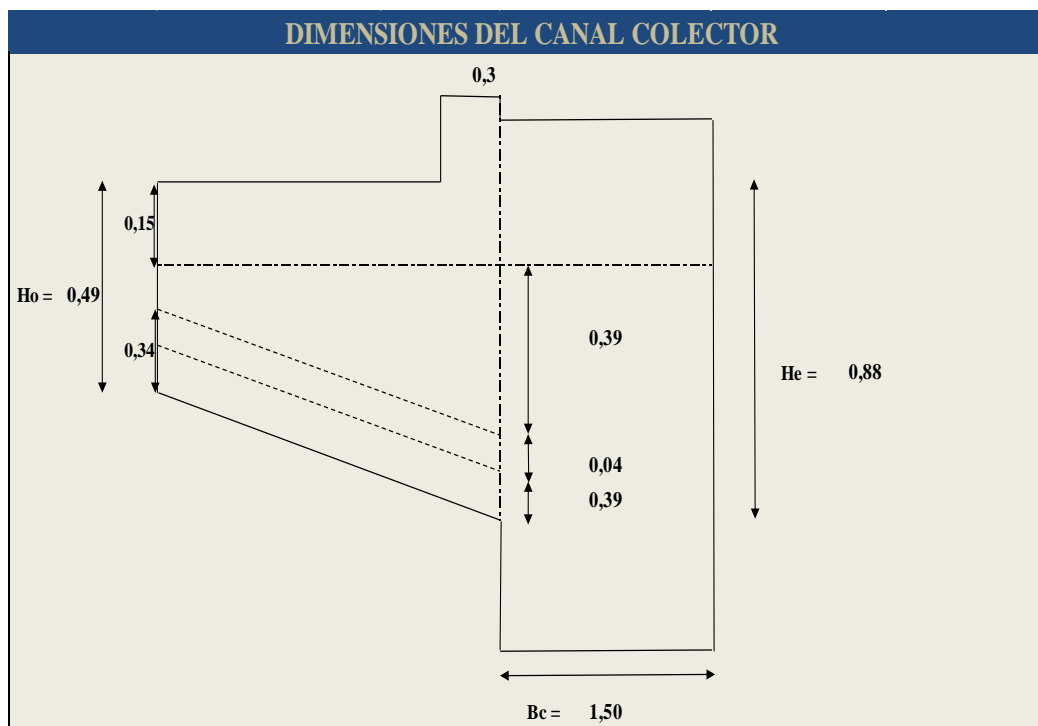
DATOS DE ENTRADA			
Borde libre	Bl	0,15	m
Espesor del muro	e	0,3	m
Pendiente	i	3	

Fuente: Elaboración Propia

Las dimensiones del canal colector o galería quedan determinadas por los cálculos respectivos.

DIMENSIONAMIENTO DEL CANAL COLECTOR		
Cálculo	Formula	Resultado
PROFUNDIDAD CRÍTICA	$h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B^2 * g}}$	0,39
PROFUNDIDAD AGUAS ABAJO	$h_e = h_c$	0,39
PROFUNDIDAD AGUAS ARRIBA	$h_o = \left[ 2h_e^2 + \left( h_e - \frac{i(Lr + 0.3)}{3} \right)^2 \right]^{1/2} + \frac{2}{3}i(Lr + 0.3)$	0,34
PROFUNDIDAD AL INICIO DEL CANAL	$H_o = h_o + Bl$	0,49
PROFUNDIDAD AL FINAL DEL CANAL	$H_e = h_e + (h_o - h_e) + [(Lr + 0.3)i] + Bl$	0,88
VELOCIDAD EN EL CANAL	$V_e = \frac{Q_d}{B * h_e}$	1,94
ALCANCE DEL CHORRO SUPERIOR	$X_s = 0.36(ve^{2/3}) + 0.6(h_e^{4/7})$	0,91
ALCANCE DEL CHORRO INFERIOR	$X_i = 0.18(ve^{4/7}) + 0.74(h_e^{3/4})$	0,63
ANCHO DEL CANAL COLECTOR	$B_c = X_s + 0.3$	1,50

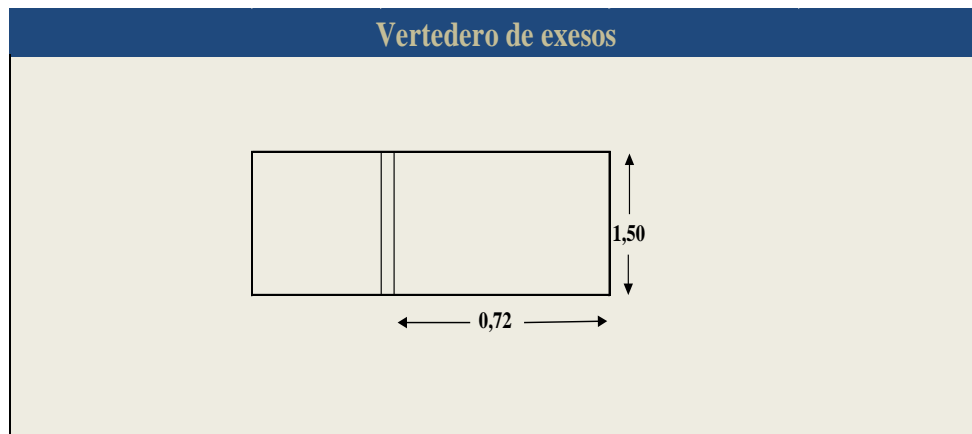
Fuente: Elaboración Propia



De igual manera, se presenta el cálculo del caudal de excesos y el correspondiente vertedero para su evacuación.

<b>CAUDAL DE EXCESOS</b>		
<b>Cálculo</b>	<b>Formula</b>	<b>Resultado</b>
ALTURA DE CARGA SOBRE EL AZUD	$H_m = \frac{Q_m^{2/3}}{1.84 * b_c}$	<b>0,02</b>
CAUDAL CAPTADO	$Q_{cap} = 0.3 * A n_c * \sqrt{2g * H_m}$	<b>0,66</b>
CAUDAL DE EXCESOS	$Q_{exc} = Q_{cap} - Q_d$	<b>0,36</b>
ALTURA DE EXCESOS	$H_{exc} = \frac{Q_{exc}^{2/3}}{1.84 * B_c}$	<b>0,26</b>
VELOCIDAD EN EL VERTEDERO DE EXCESOS	$V_{exc} = \frac{Q_{exc}}{B_c * H_{exc}}$	<b>0,93</b>
ALCANCE DEL CHORRO SUPERIOR	$X_s = 0.36(V_{exc}^{2/3}) + 0.6(H_{exc}^{4/7})$	<b>0,62</b>
ALCANCE DEL CHORRO INFERIOR	$X_i = 0.18(V_{exc}^{4/7}) + 0.74(H_{exc}^{3/4})$	<b>0,44</b>
ANCHO DE LA EVACUACION DE EXCESOS	$B_{exc} = X_s + 0.1$	<b>0,72</b>

**Fuente:** Elaboración Propia



**Fuente:** Elaboración Propia

#### 4.4 ESTRUCTURAS PARA MEDICIÓN DE CAUDAL

##### 4.4.1 VERTEDEROS

##### 4.4.1.1 Vertedero Rectangular

Si se trata de un vertedero rectangular sin contracciones, el cálculo del caudal se lo realiza de la siguiente manera:

<b>DATOS DE ENTRADA PARA EL CALCULO DEL CAUDAL DEL VERTEDERO</b>			
Altura de agua medida mediante la escala	h	0,3	m
Ancho del Canal	b	1,3	m

**Fuente:** Elaboración Propia

<b>CÁLCULO</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>RESULTADO</b>
<b>CAUDAL DE DESCARGA</b>	$Q = 1.84 * b * h^{\frac{3}{2}}$	<b>0,39</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

Para el caso de un vertedero rectangular con contracciones, la determinación del caudal es de la siguiente forma:

<b>DATOS DE ENTRADA PARA EL CALCULO DEL CAUDAL DEL VERTEDERO</b>			
Altura de agua medida mediante la escala	h	0,5	m
Ancho de la Cresta del Vertedero	L	0,8	m

**Fuente:** Elaboración Propia

CÁLCULO	FÓRMULA	RESULTADO
CAUDAL DE DESCARGA	$Q = 1.84 * (L - 0.2h) * h^{\frac{3}{2}}$	0,46

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4.1.2 Vertedero Triangular

Se ingresa únicamente como dato la medición de la altura de agua.

DATOS DE ENTRADA PARA EL CALCULO DEL CAUDAL DEL VERTEDERO			
Altura de agua medida mediante la escala	h	0,3	m

Fuente: Elaboración Propia

Se calcula el caudal para los dos ángulos más usados en un vertedero triangular: 60° y 90°

CÁLCULO	ÁNGULO (θ)	FÓRMULA	RESULTADO
CAUDAL DE DESCARGA	90°	$Q = 0.82 * h^{2.5}$	0,04
	60°	$Q = 1.4 * h^{2.5}$	0,07

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4.1.3 Vertedero Trapezoidal

Se ingresan como datos la medida de la carga de agua y la Base del Trapecio.

DATOS DE ENTRADA PARA EL CALCULO DEL CAUDAL DEL VERTEDERO			
Altura de agua medida mediante la escala	H	0,3	m
Base del Trapecio	L	1,3	m

Fuente: Elaboración Propia

CÁLCULO	FÓRMULA	RESULTADO
CAUDAL DE DESCARGA	$Q = 1.86 * b * h^{\frac{3}{2}}$	0,40

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4.2 AFORADOR DE GARGANTA LARGA

Ingreso de la medida de la carga aguas arriba del aforador.

DATOS DE ENTRADA		
Altura aguas arriba del Aforador	h	1,8 m

Fuente: Elaboración Propia

Se determina el caudal mediante la siguiente fórmula:

CÁLCULO	FÓRMULA	RESULTADO
CAUDAL DE DESCARGA	$Q = 11.5586 - 21.0966h + 9.3127h^2$	3,76

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.4.3 AFORADOR DE GARGANTA CORTA PARSHALL

Ingreso de datos para el cálculo del caudal.

DATOS DE ENTRADA		
Ancho de la Garganta del Aforador	W	0,076 m
Carga de Agua	H	0,1 m

Fuente: Elaboración Propia

La determinación de un caudal aproximado que circula por el aforador se realiza con la siguiente fórmula:

CÁLCULO	FÓRMULA	RESULTADO
CAUDAL DE DESCARGA APROXIMADO	$Q = 2.2 * W * H^{\frac{3}{2}}$	0,0053

Fuente: Elaboración Propia

Para la medida más exacta del caudal, se debe hacer uso de las ecuaciones de gasto según el ancho de garganta y el rango de caudal que se quiera medir, presentadas en el capítulo anterior.

#### 4.4.4 AFORADOR DE GARGANTA CORTADA

Se ingresan los siguientes datos para el cálculo del caudal:

<b>DATOS DE ENTRADA</b>			
Ancho de la Garganta del Aforador	<b>W</b>	0,076	m
Carga de Agua aguas arriba	<b>H</b>	0,1	cm
Longitud del Aforador	<b>L</b>	1	m
Coefficiente	<b>K</b>	3,5	
Exponente	<b><math>\alpha</math></b>	1,65	

Fuente: Elaboración Propia

Se determina el coeficiente C y se efectúa el cálculo del caudal de descarga del aforador.

<b>CÁLCULO COEFICIENTE PARA LA FORMULA DEL CAUDAL</b>			
Coefficiente	<b>C</b>	0,25	

Fuente: Elaboración Propia

<b>CÁLCULO</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>RESULTADO</b>
CAUDAL DE DESCARGA APROXIMADO	$Q = C * h^\alpha$	0,0056

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5 RANGO DE CAUDAL REPRESENTATIVO PARA EL DISEÑO

Se determina a continuación el rango de caudal de mayor incidencia en los sistemas de riego de la Provincia, el mismo que sirve para evaluar las Obras Hidráulicas en estudio. Sus valores se establecen en función de una revisión de los caudales de diseño presentes en cada uno de los sistemas de riego y por medio de un análisis estadístico de frecuencias y su respectivo Histograma.

En la siguiente Tabla se ilustra los sistemas de riego con caudal correspondiente.

Tabla 38

*Caudal de los Sistemas de Riego de la Provincia del Cañar*

<b>PARROQUIA</b>	<b>SISTEMA DE RIEGO</b>	<b>CAUDAL (lt/s)</b>
<b>CAÑAR CAB. CANTONAL</b>	PIÑAN QUILLOAC	9,88
	PLANTA DE LUZ ANTIGUA	25,00
	RAMOSHUAYCO CHORRILLOS	26,53
	PATOCOCHA	470,00
<b>CHONTAMARCA</b>	COCHAPAMBA	1,04

	EL ARRIENDO	2,36
	EL ENTABLE	5,00
	EL PARAISO	9,00
	RUMIHURCO	6,00
	TUNGURAHUA RÍO GRANDE	17,60
<b>CHOROCOPE</b>	BOLALOMA	12,00
	CHUQUIRAHUA TORRERRUMI	0,94
	CITACAR HUAGRAPAMBA TASQUI	7,23
	EL ESTERO	21,84
	PINOS CACHIPAMBA	4,10
	TAURIHUAYCO ROMERILLO	0,48
<b>DUCUR</b>	APANGORAS ALTO	3,60
	APANGORAS BAJO	10,15
	CHILCHIL CAPARINA	32,15
	CHILCHIL LA CAPILLA	3,00
<b>EL TAMBO</b>	CACHI ROMERILLO	123,71
	GULAG SALTO	140,00
	JABASPAMBA	1,11
	SAN JUAN TAGLE Y SAN ANTONIO	232,15
	SUMPALA VISISINGA	138,74
	ZEMBRASAN	110,00
<b>GENERAL MORALES</b>	CASHAPAMBA	0,43
	CHINIPAMBA	1,42
	LA MINA	0,40
	PALMA SHICAL	40,00
	POST DE MONTAÑA	5,43
	PUCANGO LAS JUNTAS	10,15
	RAMBRAN INGAPOTRERO	1,57
	RAMOSHUAYCO GM	8,04
	RAMOSHURAY	0,15
	SHICAL BAJO	0,50
	SHILISHUN	4,00
	TASQUI	3,23
	TASQUI SITINCAY	2,10
	YURACACHI	3,50
<b>GUALLETURO</b>	BASCAY	32,50
	BUQUIAR GUALLETURO	76,00
	CARUPAMBA	3,52
	EL ROSARIO	3,20
	GOLONDRINA PEGAPAMBA C	26,74

	HATUNHUAYCO BARROSCOCHA	8,74
	ILINLOMA DORMIDORA	150,00
	LLAMAGSHI	5,52
	MAMAYACO	2,00
	PADRERRUMI POROTOPAMBA	44,36
	PUCANGO LUN	5,50
	RAMOSHUAYCO G.	10,70
	RÍO CORAZON	60,00
	SAN LUCAS	6,44
	SAN LUIS	10,00
	SANTA ANA	22,00
	TABLARUMI CHAUPITOMA	24,00
	ZAPAN	30,00
	<b>GUAPAN</b>	BUIL GUAPAN
GONZALEZ RODRIGUEZ		3,35
SAN ANTONIO		28,00
VINTIMILLA		2,70
<b>HONORATO VÁSQUEZ</b>	CHIRIPUNGO	67,30
	MOLOBOG ZHILLA JOYAPA	30,30
	QUINOALES BUERAN	76,12
	QUNUAPATA	3,28
	ZHILLA SAN PEDRO BAJO	44,00
	ZHULLIN ATUHUAYCO	<b>SIN ADJUDICACION</b>
<b>INGAPIRCA</b>	AMANTA JESUS DEL GRAN PODER	10,07
	CACHIPLAYA	113,15
	CHUGUIN TOMAHUAYCO	3,03
	GUNAG ZAGUAN Y CRUZPATA	0,70
	HATO DE LA VIRGEN	18,80
	HUAYRAPUNGO CHUGUIN CHICO	1,77
	HUERTASHUAYCO	8,00
	IZHCAYACU	314,00
	MANGAN	63,00
	SAN CARLOS CAJONTAMBO	100,00
	TURCHI COCHAPAMBA	11,08
	VENDELECHE	45,00
	YANASACHA SILANTE BAJO	3,71
	YURAYACU	0,19
<b>JAVIER LOYOLA</b>	CHUQUIPATA	161,18
<b>JERUSALEN</b>	CHICA DISPENSA	1,80
	CACHI GALUAY	25,00

<b>JUNCAL</b>	CANTAGALLO CORCOVADO	35,00
	HUALLICANGA	80,00
	HUALLICANGA CHARCAY	12,00
<b>LUIS CORDERO</b>	ACUEDUTO LUIS CORDERO	40,00
	LEONAN	1,49
	TAGZHANA HUINTUL	2,66
<b>MANUEL J. CALLE</b>	ASOCIACION PROCANU	75,00
<b>NAZON</b>	GALUAY VOLUNTAD DE DIOS	72,90
<b>PANCHO NEGRO</b>	ESTERO LA ENVIDIA	16,64
	ESTERO SIN NOMBRE	2,75
	MANUEL J. CALLE	<b>SIN ADJUDICACION</b>
<b>SAN ANTONIO DE PAGUANCAY</b>	AGUA DE DON CRISTO	3,35
	CENTRO PATUL	11,80
	CORAZÓN	60,00
	NORCAY	4,28
	SAN VICENTE CAIMATAN	15,00
	SHUCAY	93,70
	VALDIVIA	4,50
	VERDEHUAYCO	3,34
<b>SAN MIGUEL</b>	GUARANGO CHICO	5,25
	QUEBRADA LA VIRGEN	0,20
	SANTA MARTHA	8,65
<b>SOLANO</b>	EL SALADO	0,78
<b>SUSCAL</b>	CHAUCHAS SUSCAL	2,36
	MILMIL CHICO	2,86
	MILMIL GRANDE	3,64
<b>VENTURA</b>	QUEBRADA CUTUHUAY	20,00
	RÍO LA CLEMENTINA	<b>SIN ADJUDICACION</b>
<b>ZHUD</b>	ASTILLASPAMBA	1,05
	CARZHAO PIMO	16,05
	CASTILLO	1,00
	CHILCAHUAYCO	0,60
	CHOCAR QUITUCO	19,60
	CUADRA PATALAG	0,79
	HUABISAYHUAYCO	1,66
	HUALLICANGA GUN TINAJERAS	6,38
	PACAY	1,70
	PATALAG	0,08
	PATALAG CHUGCHUGUSO	1,32
	PIMO DOS	0,47

	PIMO TRES	0,67
	RAMOSHUAYCO ZHULLIN	2,50
	SAN CARLOS	5,48
	SIGSIPUNGO	35,27
	TAURI	0,75
	WASHAZHUD	2,25
	YANACACHI CAZHIN	9,92
	ZHUD COLLA	3,00

**Fuente:** Datos obtenidos de la Dirección de Riego y Drenaje del GAD Provincial del Cañar.  
Elaboración: Propia.

#### 4.5.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS

Para empezar, hay que dividir el número total de caudales en rangos o clases que permitan identificar la frecuencia con los que se presentan los mismos; hay que tomar en cuenta que el análisis se va a realizar con 130 caudales, debido a que tres de los 133 sistemas de riego no tienen su respectiva adjudicación.

En la Tabla 39 se presenta un resumen de los Cálculos Previos al Análisis de Frecuencias, en donde:

- **El límite inferior** representa el valor menor de todos los datos.
- **El límite superior** representa el valor mayor de todos los datos.
- **El Rango** es la diferencia entre el límite inferior y superior.
- **El Número de clases** esta dado por la fórmula de Sturges, la misma que se usa para determinar el número de intervalos o clases en una distribución de frecuencias.

$$\text{Número de Clases} = 1 + 3,322 \log(n)$$

Donde: n= número de datos.

$$\text{Número de Clases} = 1 + 3,322 \log(130)$$

$$\text{Número de Clases} = 8$$

- **El tamaño de clase** se determina dividiendo el Rango para el Número de Clases.

Tabla 39  
*Cálculos Previos al Análisis de Frecuencias*

<b>CÁLCULOS PREVIOS</b>	
<b>Número de Datos</b>	130,00
<b>Límite Inferior</b>	0,08
<b>Límite Superior</b>	470,00
<b>Rango</b>	469,92
<b>Nº de Clases</b>	8
<b>Tamaño de Clase</b>	58,74

**Fuente:** Elaboración Propia.

En la Tabla 40 se puede observar las 8 clases con su correspondiente límite inferior y superior.

Tabla 40  
*Intervalos de Clase*

<b>N ° de Clase</b>	<b>INTERVALOS DE CLASE</b>	
	<b>Límite inferior</b>	<b>Límite Superior</b>
1	0,08	58,82
2	58,82	117,56
3	117,56	176,30
4	176,30	235,04
5	235,04	293,78
6	293,78	352,52
7	352,52	411,26
8	411,26	470,00

**Fuente:** Elaboración Propia.

Una vez identificado el número de clases y la amplitud o tamaño, se procede a hallar la frecuencia en cada clase, la mismo que será de utilidad para la realizar el histograma y poder interpretar los datos de caudales. En la tabla 41 se identifica la frecuencia y frecuencia acumulada en cada clase con sus respectivos porcentajes.

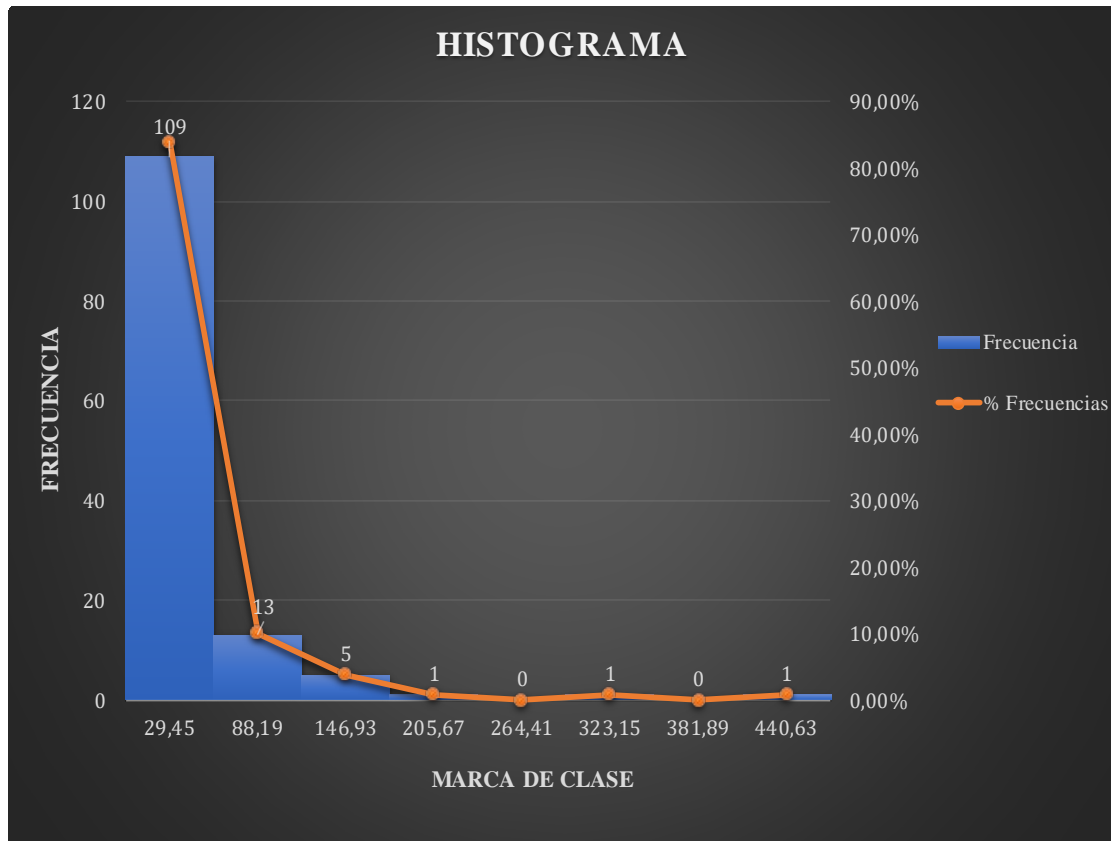
Tabla 41  
*Distribución de Frecuencias*

CLASES		MARCA DE CLASE	FRECUENCIA	FRECUENCIA ACUMULADA	% FRECUENCIAS	% ACUMULADO
0,08	58,82	29,45	109	109	83,85%	84,09%
58,82	117,56	88,19	13	122	10,00%	93,94%
117,56	176,30	146,93	5	127	3,85%	97,73%
176,30	235,04	205,67	1	128	0,77%	98,48%
235,04	293,78	264,41	0	128	0,00%	98,48%
293,78	352,52	323,15	1	129	0,77%	99,24%
352,52	411,26	381,89	0	129	0,00%	99,24%
411,26	470,00	440,63	1	130	0,77%	100,00%

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.5.2 HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS

Como se puede observar en el siguiente gráfico, la gran mayoría de los caudales se encuentran concentrados en la primera clase, dicho en otros términos se concluye que el 83,85% de los caudales de los sistemas de riego existentes en la Provincia del Cañar son menores aproximadamente a 60 lts/s.



Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.6 DISEÑO HIDRÁULICO DE LAS OBRAS APLICANDO EL RANGO DE CAUDAL REPRESENTATIVO

Las obras se diseñarán para un caudal promedio del rango representativo, es decir se asumirá como caudal de diseño 30 lts/s.

##### 4.6.1 TOMA CONVENCIONAL

Se ingresa como caudal de diseño 30 lts/s, así como los demás datos de entrada para el cálculo.

DATOS GENERALES DE ENTRADA			
Caudal de diseño	<b>Qd</b>	0,03	m <sup>3</sup> /s
Caudal promedio	<b>Qp</b>	0,25	m <sup>3</sup> /s
Caudal de crecida	<b>Qc</b>	0,5	m <sup>3</sup> /s
Pendiente del río	<b>ir</b>	0,01	
Ancho del río	<b>Brio</b>	10	m
Velocidad media del Río	<b>VR</b>	0,5	m/s

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.6.1.1 Diseño de la Rejilla de Captación

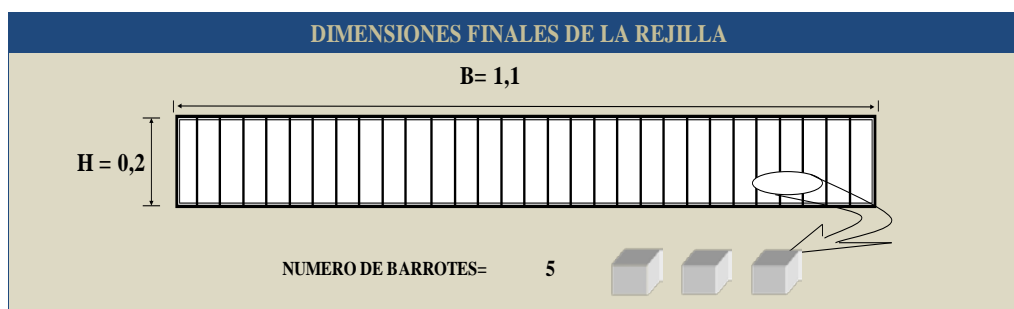
Se aplica el procedimiento de cálculo indicado anteriormente y se obtienen los siguientes resultados:

DATOS DE ENTRADA PARA EL CALCULO DE LA REJILLA			
Alto de la reja de entrada	H	0,15	m
Distancia desde el umbral de la reja hasta el fondo del río.(aguas arriba de la reja)	P <sub>1</sub>	0,6	m
Distancia desde el umbral de la reja hasta el fondo del desripador. (aguas abajo de la reja)	P <sub>2</sub>	0,6	m
Ancho de barrotos	b <sub>1</sub>	0,1	m
Espacio entre barrotos	b <sub>2</sub>	0,1	m
Coefficiente de perdidas según la forma del barrote	kr	2,42	
Angulo de inclinacion de barrotos	δ	90	
Espesor del muro	e	0,1	m
Coefficiente de correccion de perdidas	β	2,5	

Fuente: Elaboración Propia.

DIMENSIONAMIENTO DE LA REJILLA		
Cálculo	Formula	Resultado
ANCHO EFECTIVO	$b = \frac{Qd}{S * Mo * H^{\frac{3}{2}}}$	0,56
NÚMERO DE BARROTOS	$n = \frac{b}{b_2} - 1$	5
ANCHO TOTAL	$B = b + nb_1$	1,06
VELOCIDAD DE APROXIMACION	$v_0 = \frac{Qd}{B * H}$	0,19
COMPROBACION CAUDAL DE DISEÑO	$Q_d = S * Mo * b * (H - hr)^{\frac{3}{2}}$	0,03

Fuente: Elaboración Propia.



**Fuente:** Elaboración Propia.

Por lo tanto, se obtiene una rejilla de captación con las siguientes dimensiones: un ancho de 20 cm, un largo de 1.1 metros y 5 barrotes con un espesor de 10 cm y separados 10 cm entre sí.

#### 4.6.1.2 Diseño del Desripiador y Compuerta de lavado

##### 4.6.1.2.1 Desripiador

De igual forma, al aplicar el procedimiento antes descrito se obtienen los siguientes resultados:

Cálculo	Fórmula	Resultado
ANCHO DEL VERTEDERO DEL DESRIPIADOR	$bv = \frac{Qd}{S * Mo * H^2}$	0,61
ALTURA CONJUGADA Y1 (MEDIANTE RESOLUCIÓN DE LA ECUACION DE BERNOULLI)	$(H + P1) + \frac{P0}{\gamma} + \frac{V0^2}{2g} = Y1 + \frac{P1}{\gamma} + \frac{V1^2}{2g}$ $-0,745 = Y1 + 0,0000/Y1^2$	0,01
NÚMERO DE FROUDE	$Fr = \sqrt{\frac{Qd^2}{9,81 * B^2 * y1^3}}$	14,31
ALTURA CONJUGADA Y2	$Y2 = \frac{Y1}{2} * (-1 + \sqrt{1 + 8Fr^2})$	0,14
LONGITUD DEL DESRIPIADOR	$L = \frac{B - bv}{2 \tan 12,5}$	1,03

**Fuente:** Elaboración Propia.

La longitud necesaria para que se produzca el resalto hidráulico es:

CÁLCULO DE LA LONGITUD DEL RESALTO "Lr" SEGÚN VARIOS AUTORES				
Criterio	Autor	Fórmula	Resultado	Promedio
1	SAFRANETZ	$Lr = 4,5Y2$	0,652	0,67
2	PAVLOVSKY	$Lr = 2,5(1,9Y2 - Y1)$	0,670	
3	BAKHMETEVEV - MAZTKE	$Lr = 5(Y2 - Y1)$	0,688	

**Fuente:** Elaboración Propia.

Por lo tanto, la longitud definitiva del Desripiador es:

COMPROBACIÓN DE CONDICIONES DE DISEÑO		
FORMACIÓN RESALTO HIDRAULICO SUMERGIDO	$Y_2 < y$	CUMPLE
VALOR FINAL DE LA LONGITUD DEL DESRIPIADOR LONGITUD DEL DESRIPIADOR > LONGITUD DEL RESALTO	$L > L_r$	1,03

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.6.1.2.2 Compuerta de lavado

El caudal que se evacua por la compuerta es:

CALCULO DEL CAUDAL DE LA COMPUERTA		
CONDICION	FORMULA	RESULTADO
$Q_{\text{compuerta}} \geq Q_{\text{diseño}}$	$Q = K * e * a * b * \sqrt{2g * (H + \frac{V_0^2}{2g} - (e * a))}$	✓ 0,49
Cumple Condicion		

Fuente: Elaboración Propia.

El tiempo de lavado del Desripiador queda definido así:

CALCULO DEL TIEMPO DE LAVADO DEL DESRIPIADOR			
Caudal	Q	0,23	m <sup>3</sup> /s
Volumen	Vol	0,64	m <sup>3</sup>
Tiempo de Limpieza	t	0,05	minutos

Fuente: Elaboración Propia.

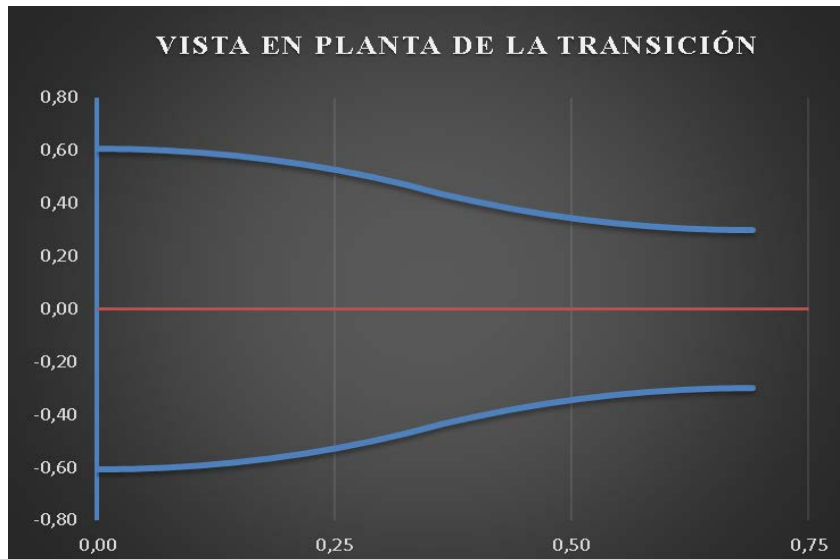
#### 4.6.1.3 Diseño de la Transición

La longitud de la Transición es:

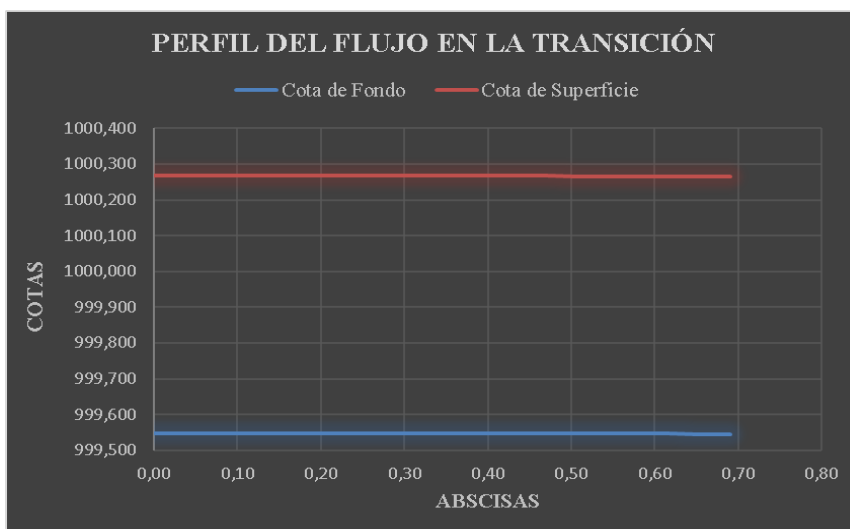
Cálculo	Fórmula	Resultado
CALADO DEL CANAL "Y"	0,0001172	0,45
LONGITUD DE LA TRANSICIÓN	$L_T = \frac{b_v - b_c}{2 \tan 12.5}$	0,69
RADIO DE PERFIL LATERAL DE LA TRANSICIÓN	$R = 1.183L_T$	0,82

Fuente: Elaboración Propia.

El diseño de la Transición en planta y perfil se presenta de la siguiente manera:



**Fuente:** Elaboración Propia.



**Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.6.2 TOMA CON REJILLA DE FONDO

Se ingresa como caudal de diseño 30 lts/s, así como los demás datos de entrada para el cálculo.

<b>DATOS GENERALES DE ENTRADA</b>			
Caudal de diseño	<b>Qd</b>	0,03	m <sup>3</sup> /s
Caudal medio	<b>Q med</b>	0,05	m <sup>3</sup> /s
Ancho del río	<b>brio</b>	2,5	m
Ancho del azud	<b>b</b>	25	m

**Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.6.2.1 Diseño de la Rejilla de Captación

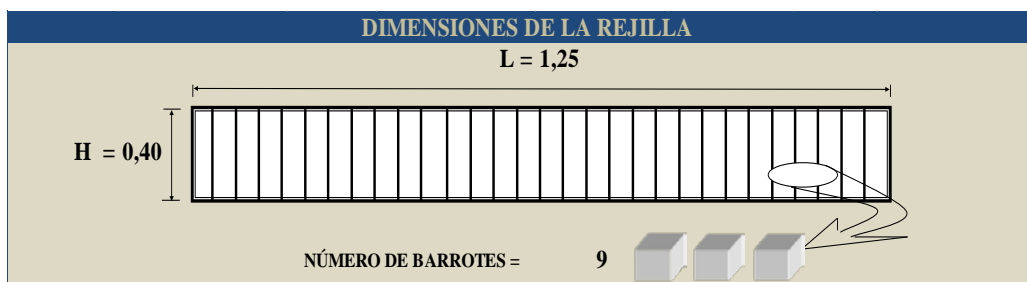
Siguiendo el procedimiento de cálculo indicado anteriormente, se obtienen los resultados que se exponen a continuación:

DATOS DE ENTRADA PARA EL CÁLCULO DE LA REJILLA		
Número de Contracciones	n	2
Ancho de barrotes	d	0,05
Separación entre barrotes	a	0,1

Fuente: Elaboración Propia.

DIMENSIONAMIENTO DE LA REJILLA		
Cálculo	Formula	Resultado
ALTURA DE LA CARGA DE AGUA	$H = \left(\frac{Qd}{1.84 * b}\right)^{2/3}$	0,01
ANCHO DEL AZUD CORREGIDO	$b_c = b - 0.1nH$	25,00
VELOCIDAD DEL RÍO	$Vr = \frac{Q_d}{b_c * H}$	0,16
ALCANCE DEL CHORRO SUPERIOR	$X_s = 0.36(Vr^{2/3}) + 0.6(H^{\frac{4}{7}})$	0,14
ALCANCE DEL CHORRO INFERIOR	$X_i = 0.18(Vr^{4/7}) + 0.74(H^{\frac{3}{4}})$	0,08
ANCHO DE LA REJILLA	$B = X_s + 0.1$	0,40
ÁREA NETA DE LA REJILLA	$An = \frac{Q_d}{0.9 * 0.1}$	0,33
LONGITUD DE LA REJILLA	$Lr = \frac{An * (a + d)}{B * a}$	1,25
NÚMERO DE BARROTES	$N = \frac{An}{B * a}$	9
ÁREA NETA CORREGIDA	$An_c = B * N * a$	0,36
LONGITUD DE LA REJILLA CORREGIDA	$Lr = \frac{An_c * (a + d)}{B * a}$	1,35

Fuente: Elaboración Propia.



Fuente: Elaboración Propia.

Por lo tanto, las dimensiones de la rejilla quedan definidas así: Un ancho de 40 cm, la longitud es de 1.25 m y el número de barrotes es de 9, cada uno separados 10 cm entre sí y con un espesor de 5cm.

#### 4.6.2.2 Diseño del Canal Colector

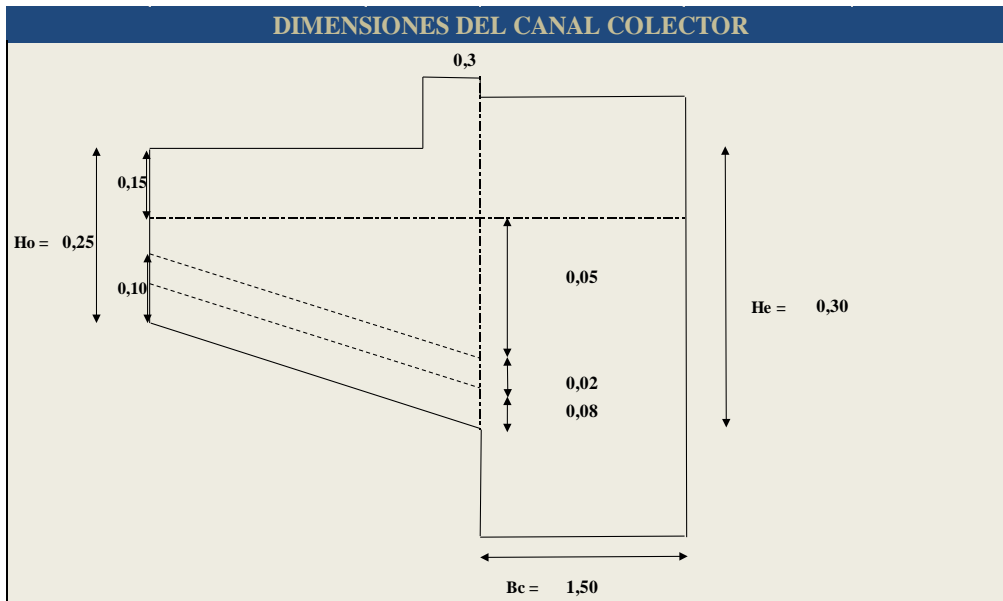
Se ingresan los respectivos datos para el diseño y se obtienen los resultados que se exponen a continuación:

DATOS DE ENTRADA			
Borde libre	<b>Bl</b>	0,15	m
Espesor del muro	<b>e</b>	0,3	m
Pendiente	<b>i</b>	3	

Fuente: Elaboración Propia.

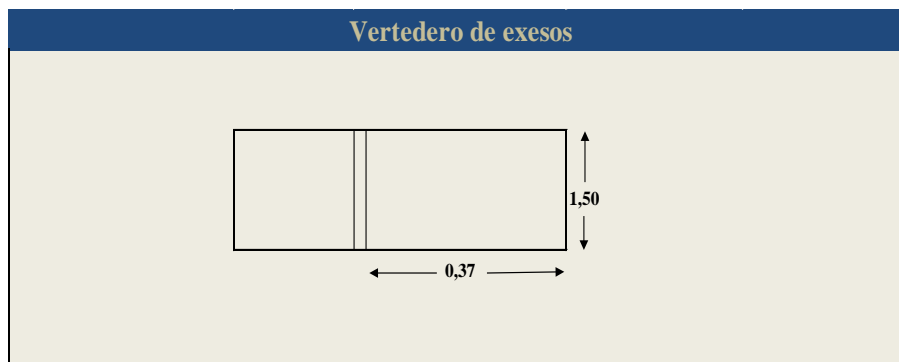
DIMENSIONAMIENTO DEL CANAL COLECTOR		
Cálculo	Formula	Resultado
PROFUNDIDAD CRÍTICA	$h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B^2 * g}}$	0,08
PROFUNDIDAD AGUAS ABAJO	$h_e = h_c$	0,08
PROFUNDIDAD AGUAS ARRIBA	$h_o = \left[ 2h_e^2 + \left( h_e - \frac{i(Lr+0.3)}{3} \right)^2 \right]^{1/2} + \frac{2}{3}i(Lr+0.3)$	0,10
PROFUNDIDAD AL INICIO DEL CANAL	$H_o = h_o + Bl$	0,25
PROFUNDIDAD AL FINAL DEL CANAL	$H_e = h_e + (h_o - h_e) + [(Lr + 0.3)i] + Bl$	0,30
VELOCIDAD EN EL CANAL	$V_e = \frac{Q_d}{B * h_e}$	0,90
ALCANCE DEL CHORRO SUPERIOR	$X_s = 0.36(Ve^{2/3}) + 0.6(h_e^{4/7})$	0,48
ALCANCE DEL CHORRO INFERIOR	$X_i = 0.18(Ve^{4/7}) + 0.74(h_e^{3/4})$	0,28
ANCHO DEL CANAL COLECTOR	$B_c = X_s + 0.3$	1,50

Fuente: Elaboración Propia.



<b>CAUDAL DE EXCESOS</b>		
<b>Cálculo</b>	<b>Formula</b>	<b>Resultado</b>
<b>ALTURA DE CARGA SOBRE EL AZUD</b>	$H_m = \frac{Q_m^{2/3}}{1.84 * b_c}$	<b>0,01</b>
<b>CAUDAL CAPTADO</b>	$Q_{cap} = 0.3 * A n_c * \sqrt{2g * H_m}$	<b>0,05</b>
<b>CAUDAL DE EXCESOS</b>	$Q_{exc} = Q_{cap} - Q_d$	<b>0,02</b>
<b>ALTURA DE EXCESOS</b>	$H_{exc} = \frac{Q_{exc}^{2/3}}{1.84 * B_c}$	<b>0,04</b>
<b>VELOCIDAD EN EL VERTEDERO DE EXCESOS</b>	$V_{exc} = \frac{Q_{exc}}{B_c * H_{exc}}$	<b>0,35</b>
<b>ALCANCE DEL CHORRO SUPERIOR</b>	$X_s = 0.36(V_{exc}^{2/3}) + 0.6(H_{exc}^{4/7})$	<b>0,27</b>
<b>ALCANCE DEL CHORRO INFERIOR</b>	$X_i = 0.18(V_{exc}^{4/7}) + 0.74(H_{exc}^{3/4})$	<b>0,16</b>
<b>ANCHO DE LA EVACUACION DE EXCESOS</b>	$B_{exc} = X_s + 0.1$	<b>0,37</b>

**Fuente:** Elaboración Propia.



## CAPITULO V

### 5 CONCLUSIONES

- Se determinó el rango de caudal representativo para el diseño de las Obras Hidráulicas, llegándose a determinar que cerca del 85% de los caudales de los Sistemas de Riego existentes en la Provincia del Cañar son menores a 60lts/s, es decir, la gran mayoría de sistemas captan caudales relativamente pequeños.
- Se consideró dos tipos de alternativas de solución para las Obras de Captación: Captación Convencional y Captación con Rejilla de fondo; las mismas que fueron diseñadas aplicando al rango de caudal representativo, lo que permitió generar diseños fundamentados en criterios técnicos y centrados en la realidad de la Provincia.
- Las estructuras para medición de caudal estudiadas se clasifican en vertederos y aforadores de régimen crítico; cada una posee aspectos particulares de diseño y abarca un rango de caudal para la medición.
- Según el rango de caudal representativo de los Sistemas de Riego, se puede concluir que los vertederos triangulares y aforadores de régimen crítico RBC son los más óptimos para la medición de caudal en la Provincia, puesto que son apropiados para aforar caudales pequeños.
- Se logró realizar una hoja de cálculo para cada una de las obras de captación y medición de caudal mencionadas, las mismas que fueron desarrolladas conjuntamente con el procedimiento de diseño para mejorar su comprensión al momento de usarlas. Además, se detalló una guía para el uso adecuado de las hojas de cálculo con el propósito de facilitar aún más el diseño.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Manual: Criterios de diseño de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico*. Lima.
- Bos, M., Replogle, J., & Clemmens, A. (1986). *Aforadores de caudal para canales abiertos*.
- Briones Sánchez, G., & García Casillas, I. (1997). *Aforo del Agua en Canales y Tuberías*. Distrito Federal México: Trillas.
- Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego. (2015). *Manual No 5: Medición de Agua*. Lima.
- Gálvez, H., & Camacho, W. (2006). *Modernización De La Enseñanza Aprendizaje En La Asignatura De Hidráulica II (Civ 230)*. Cochabamba, Bolivia.
- García Trisolini, E. (2008). *Manual de Pequeñas Irrigaciones*. Lima.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Cañar. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia del Cañar 2015 - 2019*. Azogues.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA); Comisión Nacional del Agua (CNA). (2001). *Vertedores*. Distrito Federal: Subcoordinación de Editorial y Gráfica, IMTA.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (1988). *Manual de diseño de Estructuras de Aforo*. México.
- Kennedy, A., Fragoza, F., Peña, E., & Moreno, E. (1992). *Manual de Aforos*. México: IMTA.
- Krochin, S. (1986). *Diseño Hidráulico* (Tercera ed.). Quito, Ecuador: Editorial de la Escuela Politécnica Nacional.
- Lux Monroy, M. (2010). *Medidores de Flujo en Canales Abiertos*. Guatemala.
- Luzuriaga, G. A. (2005). *Manual de diseño a Nivel de Prefactibilidad para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. Cuenca, Ecuador.
- Mansen Valderrama, A. (s.f.). *Diseño de Bocatomas*. Perú.

- Materón Muñoz, H. (1997). *Obras Hidráulicas Rurales* (Primera ed.). Santiago de Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Mojarro, B., & Robles Rubio, B. (2007). *Manual para diseño de zonas de riego pequeñas*. Mexico: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Olazábal, H., Noordholland de Jong, J., & Alvear, J. (1999). *Infraestructura de Riego: Elementos Técnicos y Sociales*. Quito: INDUGRAF del Ecuador.
- Ortiz Flórez, R. (2011). *Pequeñas Centrales Hidroeléctricas* (Primera ed.). Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Pacheco, E. A. (s.f.). *Elementos de Diseño para una Captación Convencional*. Cuenca, Ecuador.
- Pizano, S. I. (21 de 08 de 2002). *Consideraciones para la realización de Obras Hidráulicas en Laderas Andinas*. Obtenido de Obras de Toma: [http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/laderas\\_andinas/paginas/OBRAS%20DE%20TOMA.htm](http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/laderas_andinas/paginas/OBRAS%20DE%20TOMA.htm)
- PRONAR . (2010). *Criterios de Diseño y Construcción de Obras de Captación para Riego. Tomas Tiroleras*. Cochabamba, Bolivia: Selva Roca y Unidad de Comunicación y Relaciones Públicas / 2010.
- Proyecto Subsectorial de Irrigación . (2004). *Calibración de Estructuras Hidráulicas de Medición*. Lima.
- Rocha, A. (2007). *Hidráulica de Tuberías y Canales*. Lima.
- Subsecretaría de Riego y Drenaje. (2011). *Plan Nacional de Riego y Drenaje (2011 - 2026)*. Quito, Ecuador.
- Torres Herrera, F. (1987). *Obras Hidráulicas* (Segunda ed.). Distrito Federal, México: Limusa.
- Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I., Díaz, J., . . . Vásquez, C. (2016). *Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas*. Lima: UNALM.

Vera Dominguez, F. (2015). *Guía aplicable para el diseño de algunas Obras Hidráulicas*.  
Machala.

<http://www.scribd.com/doc/104188490/Exposicion-Bocatoma-La-Tranca>

<https://pt.scribd.com/doc/205380535/Libros-de-obras-hidraulicas-l-alcantarillas-y-todo-de-canales-sifones-y-mas-pdf>

<https://pt.scribd.com/doc/137528824/111470357-Hidraulica-II>

<https://www.scribd.com/doc/34913694/Vertederos-Formula>

<https://www.scribd.com/doc/314432891/B-Htc-Completo>

<https://pt.scribd.com/document/174315914/Texto-guia-para-el-curso-de-Obras-Hidraulicas>

<https://pt.scribd.com/doc/299798172/Manual-Diseños-Canal-De-Irrigacion>

<https://pt.scribd.com/doc/11470357/Hidraulica-II>

<https://www.scribd.com/doc/315038251/BCTMA-EXAMEN>

<https://pt.scribd.com/doc/81395447/TIPOS-DE-AFORO>

<https://www.scribd.com/doc/309461677/Tipos-de-canales>

<https://pt.scribd.com/doc/118868428/CANALES-ABIERTOS>

<https://www.scribd.com/document/80427461/Manual-De-Diseño-De-Estructuras-Hidraulicas>

<https://www.scribd.com/document/105816992/Libros-de-obras-hidraulicas-I>