

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS					
	CARTA DE AUTORIZACIÓN					
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA 1 de 2

Neiva, 24 de abril del 2024

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Karla Alejandra Barrero Molina _____, con C.C. No. 1075317006 _____,
 _____, con C.C. No. _____,
 _____, con C.C. No. _____,
 _____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o _____

titulado Diseño de las obras hidráulicas para el control y medición del recurso hídrico superficial en las acequias El Minche, La Mora, La Honda, El Hospital y Montegrando del municipio de Campoalegre

presentado y aprobado en el año 2024 como requisito para optar al título de

Ingeniera Civil _____ ;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS

CARTA DE AUTORIZACIÓN



CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Karla Barrero

Firma:

Karla Barrero

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS					   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Diseño de las obras hidráulicas para el control y medición del recurso hídrico superficial en las acequias El Minche, La Mora, La Honda, El Hospital y Montegrande del municipio de Campoalegre.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Barrero Molina	Karla Alejandra

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Izquierdo Bautista	Jaime

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniera Civil

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Civil

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2024

NÚMERO DE PÁGINAS: 64

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una **X**):

Diagramas___ Fotografías X Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ Grabados___
 Láminas___ Litografías___ Mapas X Música impresa___ Planos X Retratos___ Sin ilustraciones___
 Tablas o Cuadros X

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO: Planos de ubicación de las obras hidráulicas, Planos de obras hidráulicas.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Diseño</u>	<u>Design</u>	6. _____	_____
2. <u>Obra hidráulica</u>	<u>Hydraulic structure</u>	7. _____	_____
3. <u>Medición y control</u>	<u>Measurement and control</u>	8. _____	_____
4. <u>Recurso hídrico</u>	<u>Water resources</u>	9. _____	_____
5. _____	_____	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El presente proyecto se centró en el diseño de obras hidráulicas, como compuertas, vertederos y canaletas Parshall, para el control y medición del recurso hídrico en las acequias El Minche, La Mora, El Hospital y Montegrande de la Quebrada Caraguaja, así como en la acequia La Honda de la Quebrada La Rocha en el municipio de Campoalegre. El objetivo principal fue proporcionar una solución técnica que incluyera el dimensionamiento de las estructuras, la elaboración de un presupuesto detallado y la definición de instrucciones para su manejo, mantenimiento y operación. Para esto, se adoptó una metodología que permitió el diseño de las diferentes obras hidráulicas, considerando los criterios y ecuaciones de diseño, así mismo, haciendo uso de programas de diseño asistido por computadora. Como resultado del presente proyecto se llevó a cabo la entrega de los planos de los diseños de las obras a los usuarios pertenecientes a las acequias antes mencionadas.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The present project focused on the design of hydraulic works, such as gates, spillways, and Parshall flumes, for the control and measurement of water resources in the El Minche, La Mora, El Hospital, and Montegrande canals of the Caraguaja Creek, as well as in the La Honda canal of the La Rocha Creek in the municipality of Campoalegre. The main objective was to provide a technical solution that included the sizing of the structures, the development of a detailed budget, and the definition of instructions for their handling, maintenance, and operation. To achieve this, a methodology was adopted that allowed the design of various hydraulic works, considering design criteria and equations, and making use of computer-aided design programs. As a result of this project, the design plans for the works were delivered to the users belonging to the aforementioned canals.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS**

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

3 de 3

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: Henry Mauricio Castillo.

Firma:

Nombre Jurado: Hernán Javier Castillo.

Firma:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



Diseño de las obras hidráulicas para el control y medición del recurso hídrico superficial en las acequias El Minche, La Mora, La Honda, El Hospital y Montegrande del municipio de Campoalegre

Karla Alejandra Barrero Molina

Universidad Surcolombiana de Colombia
Facultad de ingeniería, Programa de Ingeniería Civil
Neiva, Colombia
2024

Diseño de las obras hidráulicas para el control y medición del recurso hídrico superficial en las acequias El Minche, La Mora, La Honda, El Hospital y Montegrande del municipio de Campoalegre

Karla Alejandra Barrero Molina

Proyecto de grado presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Civil

Director (a):

Dr. Jaime Izquierdo Bautista

Línea de Investigación:

Estructuras hidráulicas

Universidad Surcolombiana de Colombia

Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería civil

Neiva, Colombia

2024

Agradecimientos

Agradezco profundamente a Dios por brindarme la fuerza, la sabiduría y la perseverancia durante todo este proceso académico. Su guía ha sido determinante en momentos de dificultad y mi fuente de inspiración en cada logro alcanzado.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento al ingeniero Jaime Izquierdo, director de esta tesis, cuya orientación, paciencia y dedicación han sido fundamentales para la culminación de este proyecto.

A mis padres, quienes han sido mi mayor apoyo. Su sacrificio, comprensión y aliento han sido la base de mi éxito académico. Este logro también es suyo.

Estos agradecimientos reflejan sólo una pequeña parte del reconocimiento que siento hacia aquellos que han contribuido de manera significativa a mi camino académico.

Resumen

El presente proyecto se centró en el diseño de obras hidráulicas, como compuertas, vertederos y canaletas Parshall, para el control y medición del recurso hídrico en las acequias El Minche, La Mora, El Hospital y Montegrande de la Quebrada Caraguaja, así como en la acequia La Honda de la Quebrada La Rocha en el municipio de Campoalegre. El objetivo principal fue proporcionar una solución técnica que incluyera el dimensionamiento de las estructuras, la elaboración de un presupuesto detallado y la definición de instrucciones para su manejo, mantenimiento y operación. Para esto, se adoptó una metodología que permitió el diseño de las diferentes obras hidráulicas, considerando los criterios y ecuaciones de diseño, así mismo, haciendo uso de programas de diseño asistido por computadora. Como resultado del presente proyecto se llevó a cabo la entrega de los planos de los diseños de las obras a los usuarios pertenecientes a las acequias antes mencionadas.

Palabras clave: Diseño, Obra hidráulica, Medición y Control, Recurso Hídrico.

Abstract

The present project focused on the design of hydraulic works, such as gates, spillways, and Parshall flumes, for the control and measurement of water resources in the El Minche, La Mora, El Hospital, and Montegrande canals of the Caraguaja Creek, as well as in the La Honda canal of the La Rocha Creek in the municipality of Campoalegre. The main objective was to provide a technical solution that included the sizing of the structures, the development of a detailed budget, and the definition of instructions for their handling, maintenance, and operation. To achieve this, a methodology was adopted that allowed the design of various hydraulic works, considering design criteria and equations, and making use of computer-aided design programs. As a result of this project, the design plans for the works were delivered to the users belonging to the aforementioned canals.

Keywords: Design, Hydraulic structure, Measurement and Control, Water Resources.

Contenido

	Pág.
Resumen	IV
Lista de figuras.....	VIII
Lista de tablas.....	X
Lista de Símbolos y abreviaturas	XI
Capítulo 1	13
1. Introducción.....	13
1.1 Antecedentes	15
1.2 Justificación	16
1.3 Objetivos	17
1.3.1 Objetivo general.....	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
Capítulo 2	18
2. Marco teórico	18
2.1 Estructura Hidráulica.....	18
2.1.1 Obras de Medición	18
2.1.1.1 Estructura de aforo mediante canaleta Parshall.....	19
2.1.1.2 Vertederos	20
2.1.2 Obras de Control	22
2.1.2.1 Compuertas.....	22
2.1.3 Planos del diseño de las obras hidráulicas.....	23
2.1.4 Gestión y aprovechamiento del recurso hídrico.....	23
Capítulo 3	25
3. Metodología	25
3.1 Socialización de la elaboración de los diseños de las obras hidráulicas:	25

3.2 Ubicación de la zona de estudio	26
3.3 Cálculos hidráulicos.....	27
3.3.1 Diseño de compuertas	28
3.3.2 Diseño de Vertederos.....	31
3.3.3 Diseño de canaleta Parshall	32
3.4 Elaboración de planos de diseño de las obras hidráulicas.....	37
3.5 Socialización y entrega de los diseños hidráulicos a los usuarios.....	37
Capítulo 4	38
4. Análisis de resultados	38
4.1 Ubicación de la zona de estudio	38
4.2 Elaboración de los planos de ubicación de las Obras Hidráulicas.....	39
4.3. Cálculos hidráulicos.....	39
4.3.1 Resultados de los cálculos de las obras hidráulicas	40
4.3.2 Planos de las obras hidráulicas	43
4.4. Presupuesto General.....	43
4.5 Actividades de manejo, mantenimiento y operación de las estructuras hidráulicas de medición y control	48
Capítulo 5	50
5. Conclusiones y recomendaciones	50
5.1 Conclusiones	50
5.2 Recomendaciones	51
A. Anexo: Planos de ubicación de las obras hidráulicas.....	52
B. Anexo: Planos de obras hidráulicas	57
Bibliografía	62

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1: Secciones básicas de una canaleta Parshall. (Tomado de (Scott & Houston, Measuring irrigation water pág. 17)).	19
Figura 2-2: Planta, elevación y dimensiones de un medidor Parshall. (Tomado de (Ruíz, P. R., 2008, Hidráulica de canales pág. 196)).	20
Figura 2-3: Vertedero de pared delgada de forma general (Tomado de (Sotelo. G, Hidráulica general, pág. 242)).	20
Figura 2-4: Contracción lateral en vertederos (Tomado de (López. R, Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado, pág. 64)).	21
Figura 2-5: Tipos de vertedero según su forma (Tomado de (López. R, Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado, pág. 65)).	21
Figura 2-6: Detalle de compuerta deslizante (Tomado de (Sotelo. G, Hidráulica general, pág. 213)).	22
Figura 2-7: Tipo de descarga en compuertas (Tomado de (Marbello.R. Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica, pág. 102)).	23
Figura 3-1: Socialización de los diseños de las obras hidráulicas con los usuarios.	26
Figura 3-2: Toma de datos de ubicación y dimensiones hidráulicas del canal.	27
Figura 3-3: Mapa de ubicación de los puntos de las obras hidráulicas.	27
Figura 3-4: Red de flujo para una compuerta plana (Tomado de (Sotelo. G, Hidráulica general, pág. 214)).	28
Figura 3-5: Coeficientes de gasto para compuertas planas inclinadas con descarga libre (Tomado de (Sotelo. G, Hidráulica general, pág. 215)).	30
Figura 3-6: Coeficientes de gasto para compuertas planas e inclinadas con descarga libre (Tomado de (Sotelo. G, Hidráulica general, pág. 216)).	30
Figura 3-7: Vertedero rectangular con contracciones. (Tomado de (López, L., 2017)).	31
Figura 3-8: Dimensiones del medidor Parshall (Tomado de (Azevedo, J. M. y Acosta, Guillermo, Manual de Hidráulica pág. 471)).	33
Figura A-1: Plano de Localización de las Obras Hidráulicas para la concesión de agua de la Quebrada la Caraguaja en la Acequia El Minche.	52
Figura A-2: Plano de Localización de las Obras Hidráulicas para la concesión de agua de la Quebrada la Caraguaja en la Acequia El Hospital.	53

Figura A-3: Plano de Localización de las Obras Hidráulicas para la concesión de agua de la Quebrada la Caraguaja en la Acequia La Mora.	54
Figura A-4: Plano de Localización de las Obras Hidráulicas para la concesión de agua de la Quebrada la Caraguaja en la Acequia Montegrande.	55
Figura A-5: Plano de Localización de las Obras Hidráulicas para la concesión de agua de la Quebrada La Rocha en la acequia La Honda.	56
Figura B-1. Plano de Obra Hidráulica para la concesión de agua de la Quebrada la Caraguaja en la Acequia La Mora.	57
Figura B-2. Plano de Obra Hidráulica para la concesión de agua de la Quebrada la Caraguaja en la Acequia El Hospital.	58
Figura B-3. Plano de Obra Hidráulica para la concesión de agua de la Quebrada la Caraguaja en la Acequia Montegrande.	59
Figura B-4. Plano de Obra Hidráulica para la concesión de agua de la Quebrada la Caraguaja en la Acequia El Minche.	60
Figura B-5. Plano de Obra Hidráulica para la concesión de agua de la Quebrada La Rocha en la Acequia La Honda.	61

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 3-1: Determinación del ancho W de la Parshall en función del caudal (Romero Rojas, 2008).	32
Tabla 3-2: Valores de exponente “n” y coeficiente “k” (Azevedo, J. M. y Acosta, Guillermo, Manual de Hidráulica pág. 475.).	32
Tabla 3-3: Dimensiones típicas de los medidores de Parshall en cm (Azevedo, J. M. y Acosta, Guillermo, Manual de Hidráulica pág. 474).	34
Tabla 4-1: Coordenadas de las Obras Hidráulicas.	39
Tabla 4-2: Dimensiones y Caudal de los Canales.	40
Tabla 4-3: Dimensiones de las compuertas para cada acequia.	41
Tabla 4-4: Dimensiones de la canaleta Parshall de las acequias Montegrande y La Mora.	42
Tabla 4-5: Dimensiones de los vertederos de las acequias El Minche, El Hospital y La Honda.	42
Tabla 4-6: Presupuesto de obra acequia La Mora y Montegrande.	45
Tabla 4-7: Presupuesto de obra acequia El Minche y El Hospital.	46
Tabla 4-8: Presupuesto de obra acequia La Honda.	48

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
H	Energía total	m	Figura 3-4
y_1	Tirante de flujo aguas arriba	m	Figura 3-4
y_2	Tirante de flujo aguas abajo	m	Figura 3-4
V_1	Velocidad media en la sección aguas arriba	m/s	Figura 3-4
V_2	Velocidad media en la sección aguas abajo	m/s	Figura 3-4
g	Aceleración de la gravedad	m/s ²	Figura 3-4
a	Abertura de la compuerta	m	Figura 3-4
b	Ancho de la compuerta	m	Figura 3-4
C_c	Coeficiente de contracción	-	Ec. 3-1
C_v	Coeficiente de velocidad	-	Ec. 3-4
C_d	Coeficiente de descarga	-	Figura 3-6
Q	Caudal	m ³ /s	
L	Longitud del vertedero	m	Ec. 3-8
n	Numero de contracciones	-	Figura 3-7
w	Ancho de garganta	m	Tabla 3-1
h_a	Determinación de la lámina de agua	m	Ec. 3-11
w_a	Ancho de la sección de medición	m	Ec. 3-12
D	Ancho de entrada de la sección convergente	m	Ec. 3-12
V_a	Velocidad en la sección de medición	m/s	Ec. 3-13
N	Diferencia de elevación entre salida y cresta	m	Figura 3-8
E_1	Carga hidráulica	m	Ec. 3-14
E_2	Carga hidráulica antes del resalto	m	Ec. 3-15
h_2	Raíz media	m	Ec. 3-17
h_b	Lámina de agua en el resalto	m	Ec. 3-17

S	Grado de sumergencia	-	Ec. 3-18
h_3	Lámina de agua al final de la sección divergente	m	Ec. 3-20
F_2	Numero de Froude	-	Ec. 3-19
h_4	Lámina de agua al final de la canaleta	m	Ec. 3-21
td	Tiempo medio de mezcla	s	Ec. 3-22
G'	Longitud de la sección divergente	m	Ec. 3-22
V_m	Velocidad media	m/s	Ec. 3-23
V_3	Velocidad en la zona de garganta	m/s	Ec. 3-24
V_4	Velocidad en la zona de divergencia	m/s	Ec. 3-25
G	Gradiente de velocidad	s^{-1}	Ec. 3-26
E_4	Carga hidráulica en la zona de divergencia	m	Ec. 3-27

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
Δhr	Perdida de carga	m	Figura 3-4
μ	Coeficiente de descarga	-	Ec. 3-8
γ	Peso específico	N/m ³	Ec. 3-26

Subíndices

Subíndice	Término
k	Coeficiente

Superíndices

Superíndice	Término
n	Exponente, potencia

Abreviaturas

Abreviatura	Término
CAM	Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena
SRCA	Subdirección de Regulación y Calidad Ambiental
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Capítulo 1

1. Introducción

El agua es un recurso natural esencial para la vida, sin embargo, su disponibilidad se está reduciendo gradualmente debido al cambio climático y al aumento de la demanda hídrica en diferentes sectores de la economía, entre los que se encuentran el consumo humano, el uso industrial, la generación hidroeléctrica, la agricultura y las demandas ambientales. Por lo tanto, la medición del flujo hídrico se ha convertido en una herramienta fundamental para la gestión sostenible de este recurso.

Las estructuras hidráulicas son fundamentales para el funcionamiento eficiente y sostenible de una sociedad, ya que posibilitan la gestión inteligente y cuidadosa de uno de los recursos más esenciales de nuestro planeta: el agua. Estas estructuras son utilizadas para manejar, controlar y gestionar el flujo de agua y otros líquidos en sistemas hidráulicos. Además, pueden tener diferentes formas y tamaños, y se implementan en diversas aplicaciones, como la generación de energía hidroeléctrica, la gestión de recursos hídricos, la irrigación, el tratamiento de aguas residuales y el control de inundaciones.

Una de las obras hidráulicas más implementadas son las canaletas Parshall, las cuales son esenciales para medir y controlar el flujo de agua, permitiendo una distribución precisa y eficiente para el riego agrícola o el abastecimiento urbano. Por otro lado, al igual que la canaleta Parshall, los vertederos son cruciales para regular el nivel de agua en embalses y ríos, evitando desbordamientos catastróficos o asegurando un suministro constante de agua para múltiples usos. Además, las compuertas desempeñan un papel fundamental al permitir el flujo controlado de agua, ya sea para la generación de energía hidroeléctrica o para regular el nivel de aguas en sistemas de riego y drenaje.

En la producción agropecuaria, la medición del flujo hídrico permite optimizar el uso del agua de riego, mejorar la eficiencia productiva y reducir el impacto ambiental. Además, es una obligación

legal de los concesionados de las fuentes hídricas, según lo establecido en la legislación colombiana. La regulación de las corrientes hídricas y los recursos naturales es responsabilidad de algunas entidades gubernamentales a nivel nacional y departamental. La entidad encargada a nivel nacional de la regulación de los recursos hídricos es el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Por otro lado, cada departamento cuenta con una corporación autónoma regional (CAR), que son entidades encargadas de la gestión ambiental en su jurisdicción.

La Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), como máxima autoridad ambiental en el departamento del Huila, ha reglamentado el uso y aprovechamiento de las aguas de la Quebrada Caraguaja y sus afluentes. En la resolución 1218 del 13 de mayo del 2019, se establece que los usuarios de estas fuentes hídricas están obligados a construir obras hidráulicas para la medición del caudal.

Según lo mencionado anteriormente, el presente proyecto tiene como objetivo realizar el diseño de las obras hidráulicas de control y medición de caudal para la producción agrícola de los beneficiarios de las acequias El Minche, La Mora, El Hospital y Montegrande de la Quebrada Caraguaja, y la acequia La Honda de la Quebrada La Rocha pertenecientes al municipio de Campoalegre.

El proyecto se desarrolló en dos fases:

- Fase I: Recopilación de información y caracterización de las acequias
- Fase II: Diseño de las obras hidráulicas

En la fase I, se recopiló información sobre las características físicas e hidráulicas de las acequias, así como las necesidades de los usuarios. En la fase II, se utilizaron herramientas de ingeniería hidráulica para el diseño de las obras hidráulicas que permitieran cumplir con los requisitos de la CAM y las necesidades de los usuarios.

El proyecto se espera que contribuya a la gestión sostenible del recurso hídrico en la región, mejorando la eficiencia del uso del agua de riego y reduciendo el impacto ambiental.

1.1 Antecedentes

El acceso al agua es elemento esencial para la existencia de los seres vivos, con el paso del tiempo los seres humanos han usado este recurso natural para suplir sus necesidades básicas y desarrollar diferentes actividades que proporcionan beneficios para la obtención de alimentos, bienestar, diversión y demás actividades que generan desarrollo económico y mejoran la calidad de vida de las personas; sin embargo, el uso del recurso hídrico se ha convertido en un problema mundial debido a que las diversas comunidades han usado este recurso de manera indiscriminada sin tener en cuenta la importancia de su preservación y cuidado, impactando directa o indirectamente las fuentes abastecedoras de agua. (Castelblanco. 2020)

Considerando que la disponibilidad de agua se está reduciendo de manera gradual, principalmente debido al cambio climático y a que la sociedad actual está demandando mayor cantidad de recursos hídricos, éstos se hacen cada vez más escasos y deben ser distribuidos de la mejor forma posible. La aplicación de técnicas de medición de agua permitiría una distribución óptima y además se lograría un control por parte de los usuarios, quienes generalmente no aplican herramientas para el monitoreo y medición de las aguas que reciben o usan; además, es importante comprender que la correcta cuantificación del agua lleva a una mejor asignación de la misma y tiene un efecto positivo sobre la producción y beneficios económicos para los beneficiarios de este recurso (Uribe C. 2019).

La medición del flujo hídrico en la producción agropecuaria es importante para la gestión del agua de riego y mejorar su eficiencia en el uso agrícola (Liping J et al. 2023), así como también, para la planificación urbana, la construcción de obras para el control, monitoreo de inundaciones y la restauración de ríos (Hao-Che Ho et al. 2023). Esto se realiza por medio de diferentes tipos de estructuras y obras para la medición de caudales tales como compuertas, vertederos y canales, todo ello contribuyendo a la mejora de la gestión y distribución del recurso hídrico (A.S. Ribeiro, et al 2021).

Por lo anterior, nace la necesidad de que las autoridades ambientales, como administradoras de los recursos naturales renovables en su jurisdicción, tienen como función el manejo, protección y control del recurso hídrico, para así evitar su uso indiscriminado, la realización de actividades que afecten su estado y generen un impacto negativo del caudal biológico de las fuentes hídricas. Dentro de las funciones de la autoridad ambiental incluye otorgar los permisos y realizar los seguimientos de las concesiones de agua para proyectos de riego, como se establece en la sección 11 del Decreto 1076 del 2015 en los artículos 2.2.3.2.11.2 y 2.2.3.2.11.5.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expidió el Decreto 1076 del 2015 en la Sección 13 “REGLAMENTACIÓN DEL USO DE LAS AGUAS Y DECLARACIÓN DE RESERVAS Y AGOTAMIENTO” estableciendo en el Artículo 2.2.3.2.13.1 en el cual las autoridades ambientales reglamentarán convenientemente el uso y aprovechamiento de cualquier corriente o depósito de las aguas públicas, así como las derivaciones que benefician varios predios, de acuerdo con lo previsto en los artículos 156 y 157 del Decreto-Ley 2811 de 1974.

Teniendo en cuenta lo anterior, La Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) como máxima autoridad ambiental en la jurisdicción del departamento del Huila a través de su Subdirección de Regulación y Calidad Ambiental (SRCA) reglamenta diversas fuentes hídricas y sus afluentes para su aprovechamiento en actividades agropecuarias y demás usos.

La Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena bajo la resolución 1218 del 13 de mayo del 2019 reglamenta *“los usos y aprovechamiento de las aguas de Río Neiva y sus principales afluentes que incluye la Quebrada Caraguaja, Las Quebradas conductoras de descoles: La Ciénaga, El Piñuelal, Santiago, El Igua, La Rocha y los Zanjones conductores de descoles: Chorrolindo, San Marcos, Cordoncillo y El Silencio, que discurren por los municipios de Campoalegre y Rivera, en el departamento del Huila”* (CAM, 2019).

1.2 Justificación

El presente proyecto surge a partir de la creciente necesidad de abordar los desafíos relacionados con la gestión eficiente del recurso hídrico de la región Surcolombiana. La Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena, como administradora de los recursos naturales bajo la resolución 1218 del 13 de mayo del 2019, mediante el artículo segundo de la resolución anteriormente mencionada se establece que los usuarios de las corrientes reglamentadas están obligados a construir las obras hidráulicas necesarias para la captación, conducción, reparto y control de los caudales asignados a sus respectivos predios para permitir en cualquier momento la medición del caudal que se está derivando y de esta forma mantener el caudal ecológico que debe circular en el cauce principal de la fuente hídrica. Esto con el propósito de distribuir el caudal necesario a cada concesionario sin que los usuarios de las acequias aguas arriba ingresen a sus predios mayor cantidad del recurso hídrico, dejando así a los usuarios aguas abajo sin la cantidad de agua necesaria para el óptimo crecimiento y desarrollo de sus cultivos agrícolas.

Con el fin de brindar apoyo a los usuarios a dar cumplimiento al ingreso del caudal concesionado de cada acequia, el presente proyecto pretende realizar el diseño de las obras hidráulicas de

control y medición de caudal, que incluye compuertas, vertederos y canaletas Parshall, para la producción agropecuaria de los beneficiarios de las acequias El Minche, La Mora, El Hospital y Montegrande de la Quebrada Caraguaja, y la acequia La Honda de la Quebrada La Rocha pertenecientes al municipio de Campoalegre.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Generar una solución técnica para el diseño de las obras hidráulicas de control y medición del recurso hídrico superficial en las acequias El Minche, La Mora, El Hospital y Montegrande de la Quebrada Caraguaja, y la acequia La Honda de la Quebrada La Rocha pertenecientes al municipio de Campoalegre.

1.3.2 Objetivos específicos

- Dimensionar las estructuras hidráulicas necesarias para la medición y control de caudal.
- Proponer un presupuesto de los costos y cantidades de obra de las obras de medición y control.
- Establecer las actividades de manejo, mantenimiento y operación de las estructuras hidráulicas de medición y control.

Capítulo 2

2. Marco teórico

2.1 Estructura Hidráulica

Las estructuras hidráulicas son construcciones que se utilizan para manejar, controlar y gestionar el flujo de agua. Estas estructuras pueden tener diferentes formas y tamaños, y se diseñan teniendo en cuenta el sistema operativo y las fuerzas que actúan sobre la estructura (Alsayed I et al, 2023). Además, se usan en diferentes aplicaciones, como lo son la generación de energía hidroeléctrica, la gestión de recursos hídricos, la irrigación de cultivos agrícolas, el tratamiento de aguas residuales y el control de inundaciones.

- **Diseño Hidráulico**

El diseño hidráulico es un proceso donde se considera la planificación y diseño de sistemas y estructuras hidráulicas con objetivo de manejar eficientemente el agua y otros fluidos. Un proceso de diseño hidráulico involucra la selección de materiales, la topografía del terreno, la estimación del caudal de diseño y la selección de equipos adecuados.

Para el presente trabajo se diseñaron dos tipos de obras hidráulicas las cuales son:

2.1.1 Obras de Medición

Las obras de medición de caudal son estructuras hidráulicas diseñadas para medir el flujo de agua o líquidos en un sistema hidráulico. Estas obras son necesarias para determinar la cantidad de agua que fluye en un canal, río, tubería u otro tipo de estructura hidráulica. Estas obras de medición se utilizan en diferentes condiciones dependiendo de las características del sistema hidráulico y las necesidades de medición. Entre las obras de medición de caudal se encuentran la placa orificio, la compuerta rectangular, el vertedero rectangular, el vertedero triangular, canaleta Parshall, entre otros.

2.1.1.1 Estructura de aforo mediante canaleta Parshall

La canaleta Parshall se puede construir para calcular el caudal que trasiega en los canales abiertos. Por lo tanto, es un canal aforador de profundidad crítica. Su principal ventaja es que solo existe una pequeña pérdida de carga a través del aforador, que deja pasar fácilmente sedimentos o desechos, que no necesita condiciones especiales de acceso o una poza de amortiguación y que tampoco necesita correcciones para una sumergencia del 95%. Como resultado, las canaletas son adecuadas para medir el caudal en canales de riego o corrientes naturales con una pendiente ligeramente inclinada. La entrada, la garganta y la transición de salida son los tres componentes principales del aforador Parshall.

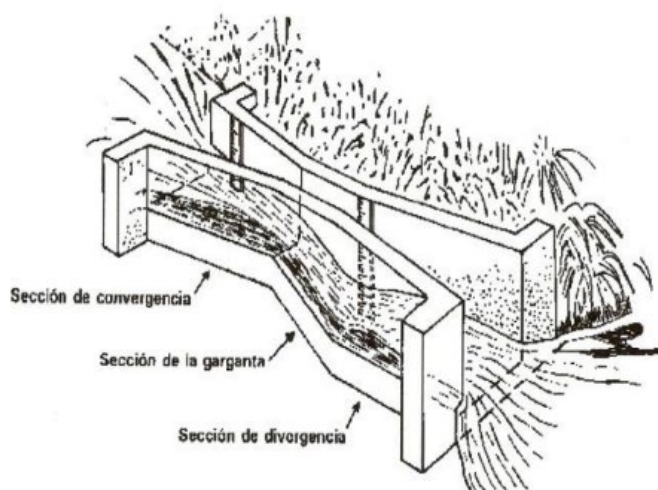


Figura 2-1: Secciones básicas de una canaleta Parshall. (Tomado de (Scott & Houston, Measuring irrigation water pág. 17)).

La sección convergente o de entrada, la garganta y la sección divergente o de salida componen la canaleta Parshall. La primera está formada por dos paredes verticales convergentes y simétricas, junto con una plantilla horizontal en el fondo: La garganta está formada por dos paredes verticales pero paralelas, y el fondo está inclinado hacia abajo con una pendiente de 2.67:1, la salida está rodeada por dos paredes verticales que divergen y el fondo se inclina ligeramente hacia arriba.

Es importante destacar que tanto las paredes como el fondo son planos. La arista que forma la unión del fondo de la entrada y la garganta se conoce como Cresta del Medidor, mientras que la longitud (la distancia entre las paredes de la garganta) se conoce como Tamaño del Medidor y la letra W se utiliza para describir la distancia entre las paredes de la garganta. La figura 2-2 muestra un medidor con sus dimensiones acotadas con notaciones prácticamente idénticas a las usadas por Parshall. Según Sotelo G. (1991).

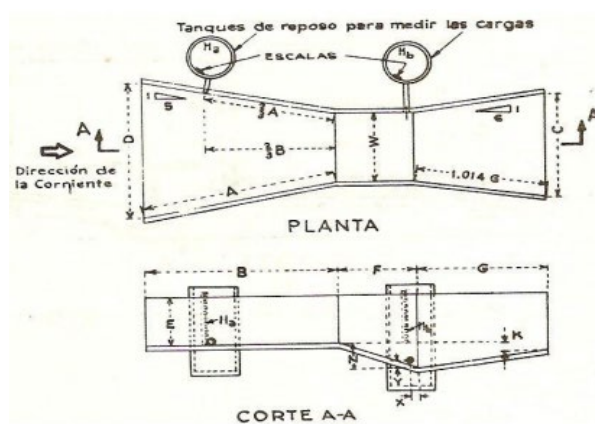


Figura 2-2: Planta, elevación y dimensiones de un medidor Parshall. (Tomado de (Ruíz, P. R., 2008, Hidráulica de canales pág. 196)).

2.1.1.2 Vertederos

Es una estructura hidráulica en la que el agua se descarga por encima de un muro o una placa, en una superficie libre. Estos Pueden tener una variedad de formas según su propósito. Por lo tanto, el vertedero se denomina de pared delgada cuando se descarga sobre una placa con perfil de cualquier forma, pero con una arista aguda. Por otro lado, cuando el contacto entre la pared y la lámina de agua es una superficie completa, se denomina vertedero de pared grueso.

El vertedero de cresta delgada es la forma más sencilla de vertedero de rebose y es un dispositivo que se utiliza para medir el flujo en canales abiertos. El diseño del vertedero de rebose de cresta redondeada se basó en las características del flujo por encima de un vertedero en hidráulica; es decir, el perfil del vertedero se determinó de acuerdo con la forma de la superficie inferior de la napa de flujo sobre un vertedero de cresta delgada. Según Sotelo G. (1991).

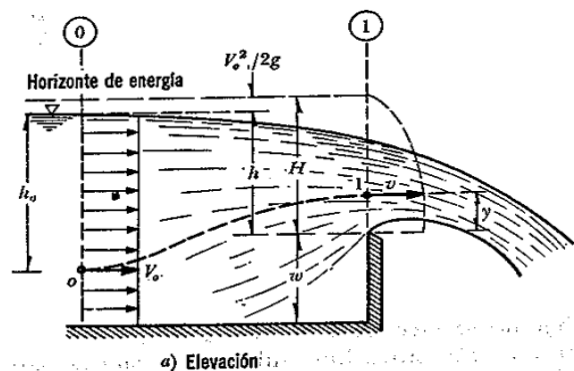


Figura 2-3: Vertedero de pared delgada de forma general (Tomado de (Sotelo. G, Hidráulica general, pág. 242)).

- **Tipo de Vertederos**

Los vertederos pueden tener paredes gruesas o delgadas, sin embargo, los de pared delgada son los más usados para medir corrientes superficiales. Pueden funcionar con descarga libre o parcialmente sumergida, pero la descarga libre presenta mayor eficiencia. El vertedero puede tener solo una contracción lateral o dos, como se muestra en la figura 2-4.

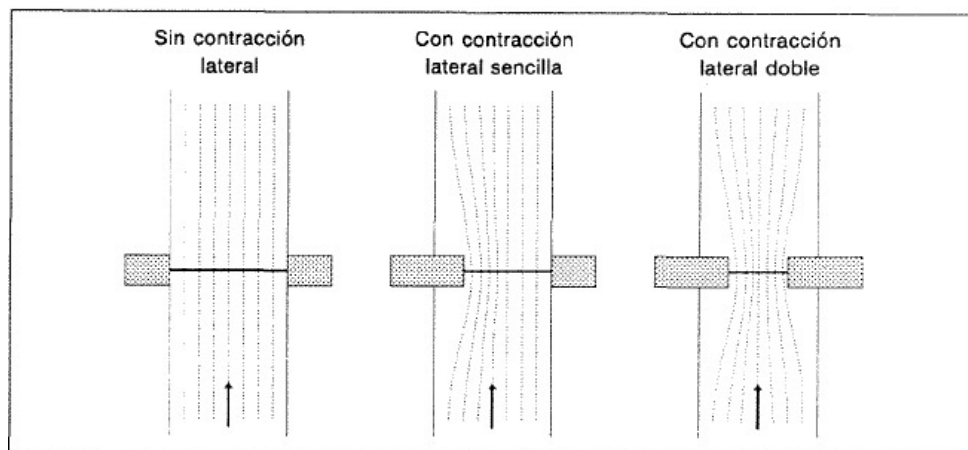


Figura 2-4: Contracción lateral en vertederos (Tomado de (López. R, Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado, pág. 64)).

Los vertederos más utilizados por su facilidad de construcción y calibración son los rectangulares y los triangulares.

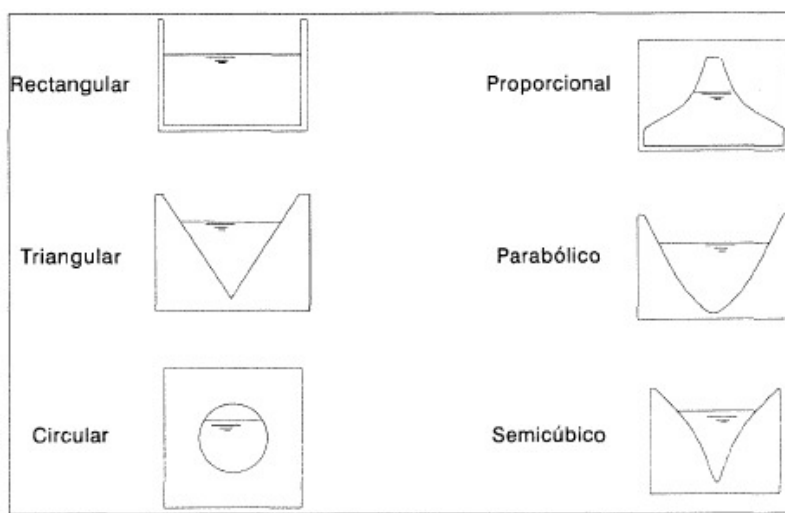


Figura 2-5: Tipos de vertedero según su forma (Tomado de (López. R, Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado, pág. 65)).

- Compuerta con descarga libre.
- Compuerta con descarga sumergida o ahogada.

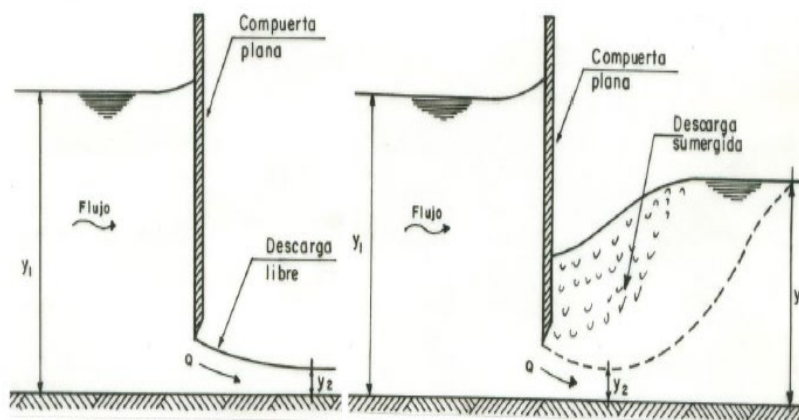


Figura 2-7: Tipo de descarga en compuertas (Tomado de (Marbello.R. Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica, pág. 102)).

2.1.3 Planos del diseño de las obras hidráulicas

- **Plano de obra**

Es un documento gráfico que representa de manera detallada las características, dimensiones, ubicación y disposición de los elementos que conforman una construcción o proyecto de ingeniería.

- **Plano de Localización**

Es un plano que muestra la ubicación de un terreno, parcela, edificio u otra estructura dentro de una zona geográfica. Este tipo de plano proporciona información sobre la ubicación y el entorno, incluyendo calles, carreteras, cuerpos de agua y otros puntos de referencia.

- **Georreferenciación**

Es un proceso de asignación de coordenadas a un objeto, imagen, mapa o conjunto de datos geospaciales, para que puedan ser ubicados y visualizados en una salida grafica o sistema de información geográfica (SIG).

2.1.4 Gestión y aprovechamiento del recurso hídrico

- **Recurso Hídrico**

Son todas las fuentes de agua, que son esenciales para la vida y el desarrollo económico. La gestión del recurso hídrico es importante para garantizar el acceso equitativo y sostenible al agua para todos los usuarios.

- **Autoridad ambiental**

Son entes corporativos de carácter público, creados por la ley, integrados por las entidades territoriales que por sus características constituyen geográficamente un mismo ecosistema o conforman una unidad geopolítica, biogeográfica o hidrogeográfica, dotados de autonomía administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica, encargados por la ley de administrar, dentro del área de su jurisdicción el medio ambiente y los recursos naturales renovables y propender por su desarrollo sostenible, de conformidad con las disposiciones legales y las políticas del MADS. (IDEAM, s.f.).

- **Concesión de agua**

Es el modo de adquirir el derecho a usar o aprovechar las aguas de uso público (CAR, s.f.) otorgado por las autoridades competentes para el uso de agua en una determinada área geográfica y durante un período de tiempo específico.

- **Caudal Biológico**

Volumen de agua por unidad de tiempo, en términos de régimen y calidad, requerido para mantener el funcionamiento y resiliencia de los ecosistemas acuáticos y su provisión de servicios ecosistémicos (IDEAM, s.f.).

- **Aguas Superficiales**

Son todas las aguas que se encuentran en la superficie del suelo. Son producidas por la escorrentía generada por las precipitaciones y por la captación de aguas subterráneas. Pueden presentarse como corrientes de agua que se mueven en una dirección como son los ríos y los manantiales; o como aguas en calma o quietas como los lagos (IDEAM, s.f.).

- **Usuario**

“Es toda persona natural o jurídica, pública o privada que aprovecha los recursos forestales o productos de la flora silvestre, conforme a las normas vigentes”. (Decreto 1076, 2015).

Capítulo 3

3. Metodología

El procedimiento que se empleó para el desarrollo del presente proyecto tuvo como metodología realizar las visitas técnicas de campo con el fin de tomar las dimensiones hidráulicas de cada acequia y recolectar los datos de ubicación de los puntos de captación y las coordenadas de las obras hidráulicas para la realización de los planos de ubicación.

Seguidamente, se elaboró una hoja de cálculo de Excel del programa de Microsoft Office de forma dinámica, para que, al introducir el caudal concesionado y las medidas de las acequias mencionadas anteriormente, se obtengan las dimensiones que deben tener cada una de las obras hidráulicas y evaluar los criterios de diseño. Una vez que se determinaron las dimensiones de las obras hidráulicas, se procedió a realizar los planos de diseño en el programa de dibujo asistido por computador AutoCAD. Además, se propuso un presupuesto para las obras diseñadas, y se establecieron las responsabilidades relacionadas con el manejo, mantenimiento y operación de estas estructuras. Finalmente, se realizó la entrega y socialización de los planos de los diseños de las obras hidráulicas con los usuarios pertenecientes a cada una de las acequias.

A continuación, se presenta el proceso que se llevó a cabo durante el desarrollo del presente proyecto.

3.1 Socialización de la elaboración de los diseños de las obras hidráulicas:

La socialización de la elaboración de los diseños de las obras hidráulicas se realizó mediante una reunión con los usuarios concesionados del recurso hídrico pertenecientes a las acequias El Minche, La Mora, El Hospital y Montegrande de la Quebrada Caraguaja, y la acequia La Honda de la Quebrada La Rocha pertenecientes al municipio de Campoalegre.

Por medio de esta reunión, se socializó con los usuarios la obligación adquirida en el Artículo 2.2.3.2.19.2 del Decreto 1076 de 2015 que establece que todos los beneficiarios de una concesión o permiso para el uso de aguas o el aprovechamiento de cauces, están obligados a presentar ante la Autoridad Ambiental los planos de las obras necesarias para la captación, control, conducción, almacenamiento o distribución del caudal.

Además, se mencionó la necesidad de realizar los diseños de las obras hidráulicas para garantizar la posibilidad de medir en todo momento el caudal que se está desviando por los canales sin afectar el caudal biológico que debe mantenerse en el cauce principal de la fuente hídrica, y de esa manera proporcionar el caudal necesario a cada concesionario sin que los usuarios de las acequias aguas arriba ingresen a sus predios mayor cantidad del recurso hídrico, dejando así a los usuarios aguas abajo sin la cantidad de agua necesaria para el óptimo crecimiento y desarrollo de sus cultivos agrícolas. Finalmente, se coordinó con los usuarios el cronograma de las visitas de campo a cada una de las acequias. (Figura 3-1)



Figura 3-1: Socialización de los diseños de las obras hidráulicas con los usuarios.

3.2 Ubicación de la zona de estudio

El trabajo de investigación se desarrolló en la zona rural del municipio de Campoalegre, al norte del departamento del Huila, en las acequias El Minche, La Mora, El Hospital y Montegrande de la Quebrada Caraguaja, y la acequia La Honda de la Quebrada La Rocha.



Figura 3-2: Toma de datos de ubicación y dimensiones hidráulicas del canal.

Se llevó a cabo la recolección de los datos de ubicación de los puntos de captación y de los puntos estratégicos para el posicionamiento de las obras hidráulicas en cada una de las acequias, con el GPS marca Garmin Edge 530, para la realización de los planos de ubicación. Además, se tomaron las dimensiones hidráulicas de cada uno de los canales.

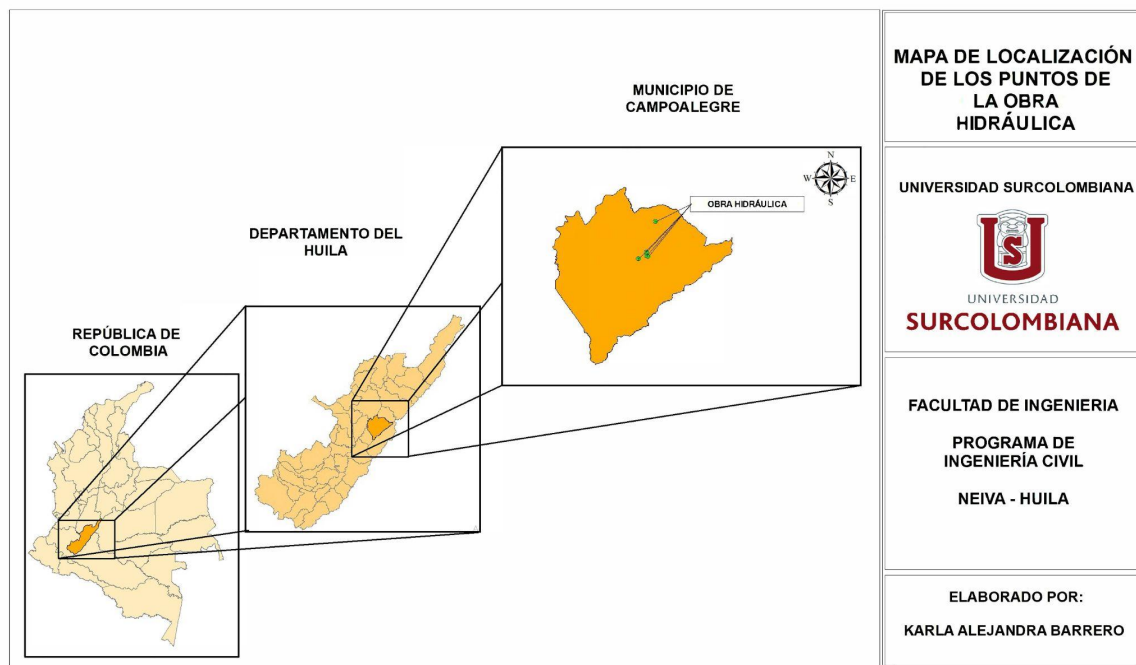


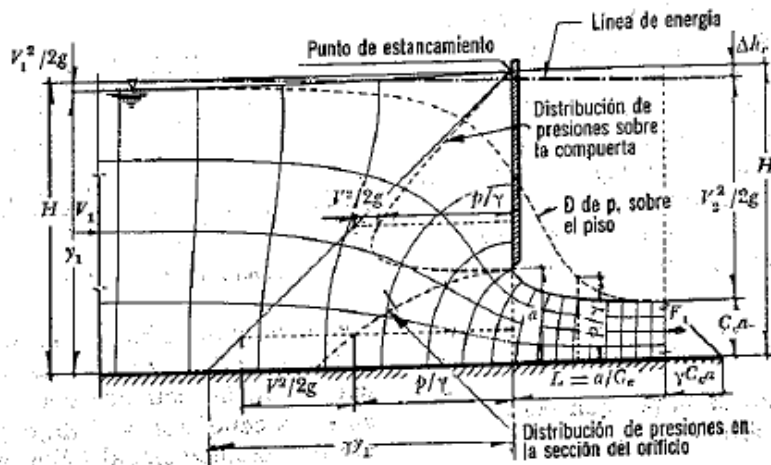
Figura 3-3: Mapa de ubicación de los puntos de las obras hidráulicas.

3.3 Cálculos hidráulicos

Los tipos de obras hidráulicas que se seleccionaron para la elaboración de los diseños en el presente proyecto fueron compuertas, vertederos y canaletas Parshall. Considerando los criterios y ecuaciones de diseño de las obras hidráulicas, se programó una hoja de cálculo

A continuación, se evidencia el procedimiento y ecuaciones de diseño para cada estructura hidráulica.

El proceso para el diseño de una compuerta es determinar el caudal que fluye a través de esta y sus características hidráulicas de descarga. En la Figura 3-4 se evidencia la red de flujo de la compuerta plana que explica la contracción de la descarga por el orificio de altura (a) hasta que alcanza un valor de la altura de escurrimiento ($c_c a$) en una distancia L donde las líneas de flujo se vuelven horizontales, lo que provoca una distribución hidrostática de presiones. El cálculo del caudal se ve afectado por la pérdida de carga Δh_r debido a la contracción y la fricción que se genera con el piso. Por lo tanto, a medida que disminuye la relación y_1/a , la carga de velocidad $V_1^2/2g$ con la que el agua llega al canal, aguas arriba de la compuerta, se incrementa. (Sotelo G. 1991).



En la parte inferior de la compuerta, donde las líneas de corriente suelen unirse, la velocidad alcanza su punto máximo. Debido a la curvatura de las líneas de corriente, hay una gran presión sobre la línea de intersección del plano de la compuerta, lo que resulta en una velocidad baja.

Para establecer la ecuación que determine el caudal, se utiliza la ecuación de energía entre una sección 1, aguas arriba, de la compuerta y la sección contraída se establece de la siguiente manera:

$$H = y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = C_c a + \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{Ec. 3 - 1}$$

Por otra parte, de la ecuación de continuidad se tiene:

$$V_1 = \frac{C_c a}{y_1} V_2 \quad \text{Ec. 3 - 2}$$

Que sustituida en la ecuación Ec. 3-1 conduce a:

$$y_1 + \left(\frac{C_c a}{y_1}\right)^2 \frac{V_2^2}{2g} = C_c a + \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{Ec. 3 - 3}$$

Simplificando la ecuación y despejando V_2 se tiene la siguiente ecuación:

$$V_2 = \frac{C_v}{\sqrt{1 + \frac{C_c a}{y_1}}} \sqrt{2gy_1} \quad \text{Ec. 3 - 4}$$

En donde C_v es el coeficiente de velocidad.

La ecuación de caudal es:

$$Q = \frac{C_c C_v b a}{\sqrt{1 + \frac{C_c a}{y_1}}} \sqrt{2gy_1}$$

$$Q = C_d b a \sqrt{2gy_1} \quad \text{Ec. 3 - 5}$$

Donde:

$$C_d = \frac{C_c C_v}{\sqrt{1 + \frac{C_c a}{y_1}}} \quad \text{Ec. 3 - 6}$$

Si la descarga está sumergida en el canal aguas abajo de la compuerta con un tirante y_3 , se puede realizar un desarrollo similar al anterior y obtener una expresión igual a la ecuación Ec. 3-5 para cualquier tipo de compuerta.

Los coeficientes C_c , C_v y C_d , dependen de la geometría del flujo y del número de Reynolds. Los coeficientes de gasto C_d obtenidos en compuertas planas con un ángulo de inclinación θ se muestran en la Figura 3-5 en términos de la ecuación y_1/a .

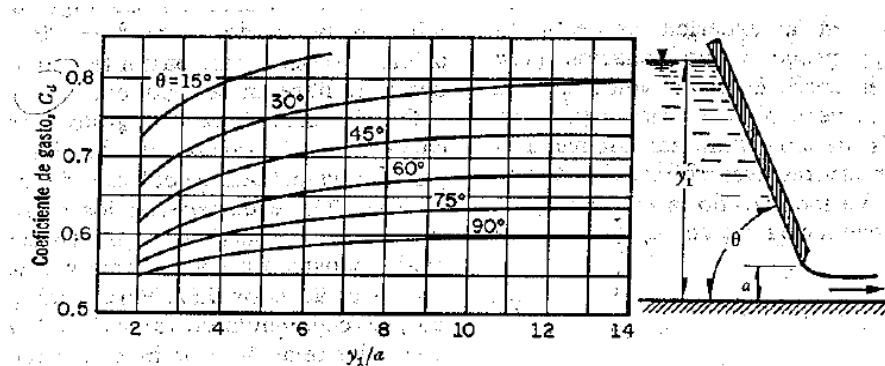


Figura 3-5: Coeficientes de gasto para compuertas planas inclinadas con descarga libre (Tomado de (Sotelo. G, Hidráulica general, pág. 215)).

El coeficiente de velocidad en compuertas verticales con descarga libre queda:

$$C_v = 0,960 + 0,0979 \frac{a}{y_1} \quad \text{Ec. 3 - 7}$$

El límite superior es $C_v = 1$, lo que se logra al alcanzar $a / y_1 = 0,408$. Los coeficientes de gasto de descarga libre (obtenidos de la Figura 3-6) y los coeficientes de velocidad de la ecuación (Ec. 3-7) se utilizaron para obtener el coeficiente C_c de la ecuación (Ec. 3-6), que mostraron variaciones en torno al valor 0.62. Se recomienda que el valor C_c sea igual a 0.62 para toda relación y_1/a , incluso para descarga sumergida. Según Sotelo G. (1991).

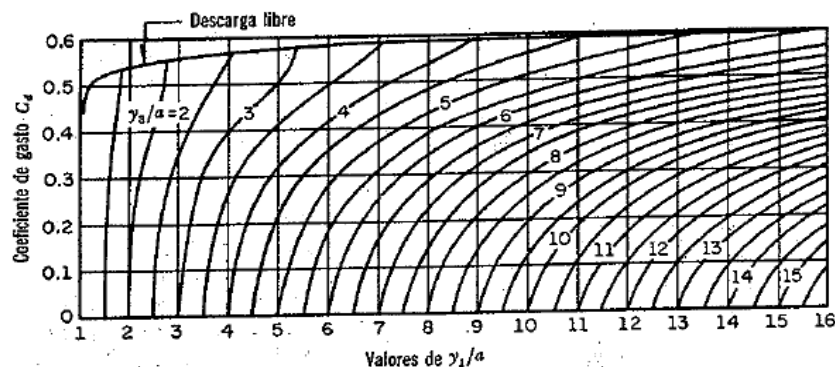


Figura 3-6: Coeficientes de gasto para compuertas planas e inclinadas con descarga libre (Tomado de (Sotelo. G, Hidráulica general, pág. 216)).

3.3.2 Diseño de Vertederos

Para llevar a cabo el diseño de un vertedero debe medirse la carga aguas arriba a una distancia aproximada de $5H$, donde la superficie libre es prácticamente horizontal, debido a la depresión de la lámina que cae sobre la cresta del vertedero. En la ecuación de Bernoulli entre un punto aguas arriba a la cresta del vertedero y la cresta misma se utiliza para determinar la ecuación general de calibración de un vertedero rectangular. Esta ecuación se obtiene:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g\mu} L H^{\frac{3}{2}} \quad \text{Ec. 3 - 8}$$

En donde:

Q = Caudal (m^3/s)

L = Longitud del vertedero (m)

H = Carga sobre la cresta del vertedero (m)

μ = Coeficiente de descarga

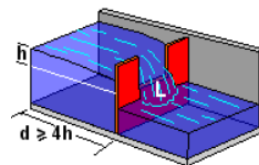
Para un vertedero rectangular sin contracción laterales el coeficiente de descarga, μ , es aproximadamente 0.60 y la ecuación 3-8 se convierte en:

$$Q = 1.84 L H^{\frac{3}{2}} \quad \text{Ec. 3 - 9}$$

Efectos de las contracciones laterales

Si no es posible calibrar un vertedero con contracciones laterales, primero se debe hacer una corrección en la longitud del vertedero. El efecto de las contracciones laterales es reducir la longitud de la lámina vertiente, como se muestra en la figura 3-7. Teniendo en cuenta un valor de L' en la ecuación anterior, esta situación se corrige de esta manera:

$$L' = L - 0.1 n H \quad \text{Ec. 3 - 10}$$



Ecuación:

$$Q = C_d (L - 0.1 n h) h^{\frac{3}{2}}$$

donde:

Q = caudal que fluye por el vertedero, m^3/s

L = longitud de cresta del vertedero, m

h = carga sobre el vertedero, m

n = número de contracciones (0, 1 ó 2)

C_d = coeficiente de descarga

Figura 3-7: Vertedero rectangular con contracciones. (Tomado de (López, L., 2017)).

3.3.3 Diseño de canaleta Parshall

El primer paso es determinar el ancho de garganta de la canaleta Parshall. Posteriormente para el dimensionamiento se deben considerar los caudales donde se ubicará el flujo a medir, estos dimensionamientos se encuentran estandarizados mediante tablas, como se relaciona a continuación:

ANCHO W(in)	Límites de caudal (l/s)	
	Q mínimo	Q máximo
1"	0,28	5,67
2"	0,57	14,15
3"	0,85	28,31
6"	1,42	110,44
9"	2,58	252
12"	3,11	455,9
18"	4,24	696,5
24"	11,9	937,3
36"	17,27	1427,2
48"	36,81	1922,7
60"	45,31	2424
72"	73,62	2931

Tabla 3-1: Determinación del ancho W de la Parshall en función del caudal (Tomado de (Romero Rojas, 2008)).

Teniendo en cuenta el Caudal de diseño (Q) en m^3/s y el ancho de la garganta de Parshall (w) en pulgadas o pies, se calcula el tiempo de mezcla y el gradiente hidráulico resultante. Se itera hasta obtener los parámetros de diseño adecuados. La metodología que se utiliza para el cálculo y el diseño de una canaleta Parshall se describe a continuación:

ANCHO DE LA GARGANTA DEL PARSHALL (w)		K	n
(pg.)	(m)		
3"	0.075	3.704	0.646
6"	0.150	1.842	0.636
9"	0.229	1.486	0.633
1'	0.305	1.276	0.657
1 1/2'	0.460	0.966	0.650
2'	0.610	0.795	0.645
3'	0.915	0.608	0.639
4'	1.220	0.505	0.634
5'	1.525	0.436	0.630
6'	1.830	0.389	0.627
8'	2.440	0.324	0.623

Tabla 3-2: Valores de exponente "n" y coeficiente "k" (Tomado de (Azevedo, J. M. y Acosta, Guillermo, Manual de Hidráulica pág. 475)).

K y n son valores tomados de la tabla 3-2 según el ancho de la garganta Parshall, que sirven para calcular la altura de agua en la sección de medición expresada en m, con la siguiente ecuación:

$$h_a = \left(\frac{Q}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \quad \text{Ec. 3 - 11}$$

W		A	B	C	D	E	F	G	K	N
Pulg	cm	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1"	2.5	36.3	35.6	9.3	16.8	22.9	7.6	20.3	1.9	2.9
3"	7.6	46.6	45.7	17.8	25.9	45.7	15.2	30.5	2.5	5.7
6"	15.2	61.0	61.0	39.4	40.3	61.0	30.5	61.0	7.6	11.4
9"	22.9	88.0	86.4	38.0	57.5	76.3	30.5	45.7	7.6	11.4
1'	30.5	137.2	134.4	61.0	84.5	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
1 1/2'	45.7	144.9	142.0	76.2	102.6	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
2'	61.0	152.5	149.6	91.5	120.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
3'	91.5	167.7	164.5	122.0	157.2	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
4'	122.0	183.0	179.5	152.5	193.8	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
5'	152.5	198.3	194.1	183.0	230.3	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
6'	183.0	213.5	209.0	213.5	266.7	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
7'	213.5	228.8	224.0	244.0	303.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
8'	244.0	244.0	239.2	274.5	340.0	91.5	61.0	91.5	7.6	22.9
10'	305.0	274.5	427.0	366.0	475.9	122.0	91.5	183.0	15.3	34.3

Tabla 3-3: Dimensiones típicas de los medidores de Parshall en cm (Tomado de (Azevedo, J. M. y Acosta, Guillermo, Manual de Hidráulica pág. 474)).

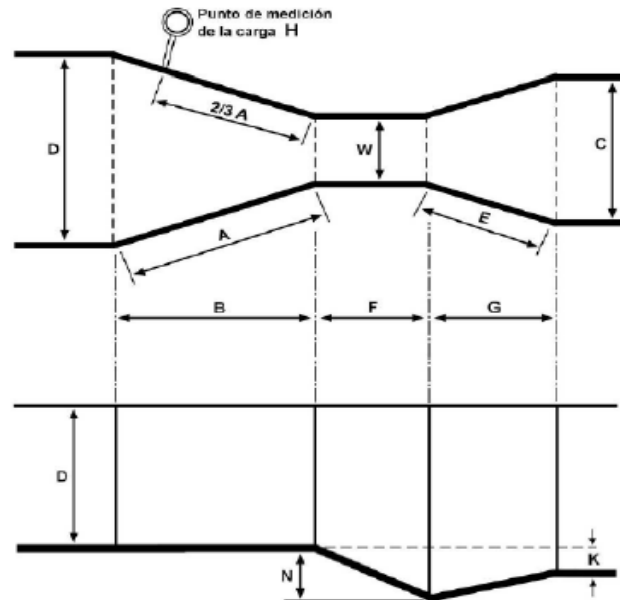


Figura 3-8: Dimensiones del medidor Parshall (Tomado de (Azevedo, J. M. y Acosta, Guillermo, Manual de Hidráulica pág. 471)).

Nomenclatura

W= Ancho de la garganta

A = Longitud de las paredes de la sección convergente

B = Longitud de la sección convergente

C = Ancho de la salida

D = Ancho de la entrada de la sección convergente

E = Profundidad total

F = Longitud de la garganta

G = Longitud de la sección divergente

K = Diferencia de elevación entre la salida y la cresta

N = Profundidad de la cubeta

Se selecciona de la tabla 3-2 el ancho de la garganta Parshall en m, y de la tabla 3-3 la dimensión de la canaleta D . Para calcular el ancho de la sección de medición expresada en m, con la siguiente formula:

$$W_a = \frac{2}{3} (D - W) + W \quad Ec. 3 - 12$$

Luego, se calcula la velocidad en la sección de medición expresada en m/s con la siguiente formula:

$$v_a = \frac{Q}{W_a h_a} \quad Ec. 3 - 13$$

De la tabla 3-3 se toma la dimensión de la canaleta N según el ancho de garganta, para calcular la carga hidráulica disponible expresada en m con la siguiente formula:

Aplicando Bernoulli:

$$E_1 = \frac{v_a^2}{2g} + h_a + N \quad Ec. 3 - 14$$

Luego, se calcula la velocidad antes del resalto expresada en m/s:

Aplicando Bernoulli

$$E_2 = \frac{v_2^2}{2g} + h_2 \quad Ec. 3 - 15$$

$$v_2 = \frac{Q}{W h_2} \quad Ec. 3 - 16$$

Se igualan, $E_2 = E_1$ (Despreciando perdidas por fricción entre 1 y 2)

Se considera que el valor de h_2 se obtiene de resolver una ecuación que deriva en 3 raíces; la raíz que se debe tomar como valor h_2 es la raíz media.

Determinación de la lámina de agua en el resalto expresada en m:

Cálculo de h_b

$$h_b = h_2 - N \quad Ec. 3 - 17$$

Chequeo grado de sumergencia S . Para verificar condiciones de aforador.

$$S = \frac{h_b}{h_a} \quad Ec. 3 - 18$$

El criterio principal para el diseño de la canaleta Parshall radica en que se cumpla con los parámetros de sumergencia ($\frac{h_b}{h_a}$), Si la sumergencia de la canaleta expresada en la ecuación (Ec. 3-18) es superior a 0,7 se dice que la canaleta trabaja ahogada por ende no funciona como aforador. Por el contrario, si es menor, se dice que la canaleta trabaja con descarga libre y funciona como aforador.

Se debe tener en cuenta que las canaletas Parshall son apropiadas como aforadoras en canales abiertos, siempre y cuando operen con descarga libre. La medición de caudales con canaletas Parshall, operando con descarga sumergida, es imprecisa, por lo cual no se recomienda su empleo en estas condiciones (Gutiérrez, 2008).

Se calcula el número de Froude en la zona garganta (Después del resalto):

Aplicando la ecuación del resalto hidráulico:

$$\begin{aligned} \frac{h_3}{h_2} &= \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8F_2^2} - 1) \\ F_2^2 &= \frac{v_2^2}{h_2 g} \\ F_2 &= \sqrt{\frac{v_2^2}{h_2 g}} \quad Ec. 3 - 19 \end{aligned}$$

Cálculo de la lámina de agua al final de la sección divergente.

$$h_3 = \frac{h_2}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_2^2} - 1 \right) \quad Ec. 3 - 20$$

Cálculo de la lámina de agua al final de la canaleta.

$$h_4 = h_3 - (N - K) \quad Ec. 3 - 21$$

Cálculo del tiempo medio de mezcla

El tiempo medio de mezcla se obtiene con la siguiente ecuación:

$$td = \frac{G'}{v_m} \quad Ec. 3 - 22$$

Cálculo de la velocidad media

$$v_m = \frac{v_3 + v_4}{2} \quad Ec. 3 - 23$$

Mediante la ecuación (Ec.3-23) se obtiene la velocidad promedio en la canaleta, la cual mediante la Ecuación (Ec.3-22) permite calcular el tiempo recorrido dentro de la canaleta Parshall.

Velocidad en la zona de garganta (Después del resalto)

$$v_3 = \frac{Q}{W h_3} \quad Ec. 3 - 24$$

Velocidad en la zona de divergencia

$$v_4 = \frac{Q}{C h_4} \quad Ec. 3 - 25$$

Teniendo como base el caudal, la dimensión de la canaleta C, y la lámina de agua al final de la canaleta se calcula la velocidad en la zona de divergencia a través de la ecuación (Ec. 3-25).

Energía en la zona de divergencia

$$E_4 = \frac{V_4^2}{2g} + h_4 \quad Ec. 3 - 26$$

Se calcula el gradiente de velocidad expresada en s⁻¹

$$\Delta h = E1 - E4 \quad Ec. 3 - 27$$

$$G = \sqrt{\frac{\gamma \Delta h}{\mu t d}} \quad Ec. 3 - 28$$

Una vez calculado el tiempo se calcula el gradiente de velocidad de la canaleta aplicando la ecuación (Ec. 3-28), así mismo se encuentra el valor de Δh que son las pérdidas de energía que produce la canaleta Parshall según el caudal.

Según las recomendaciones de diseño el gradiente hidráulico para la canaleta Parshall debe estar entre 1000 y 2000 para que tenga un funcionamiento óptimo (Comisión Nacional del Agua, 2007).

3.4 Elaboración de planos de diseño de las obras hidráulicas

Una vez realizados los cálculos considerando las ecuaciones para el diseño de las obras hidráulicas se procedió a elaborar los cinco planos de las acequias El Minche, La Mora, El Hospital y Montegrande de la Quebrada Caraguaja, y la acequia La Honda de la Quebrada La Rocha pertenecientes al municipio de Campoalegre mediante el uso del programa de diseño asistido por computadora AutoCAD.

3.5 Socialización y entrega de los diseños hidráulicos a los usuarios

Se realizó la socialización y entrega de los diseños de las obras hidráulicas, planos de ubicación e indicaciones de manejo, operación y mantenimiento de las estructuras hidráulicas, lo anterior se llevó a cabo por medio de reuniones con los concesionados de las acequias El Minche, La Mora, El Hospital y Montegrande de la Quebrada Caraguaja, y la acequia La Honda de la Quebrada La Rocha ubicadas en el municipio de Campoalegre.

Capítulo 4

4. Análisis de resultados

4.1 Ubicación de la zona de estudio

Con el GPS Garmin Edge 530 se recolectaron los datos de ubicación geográfica de los puntos de captación y de obras hidráulicas en las acequias El Minche, La Mora, El Hospital y Montegrande de la Quebrada Caraguaja, y la acequia La Honda de la Quebrada La Rocha como se evidencia a continuación (Tabla 4-1).

No	Acequia	Punto	Oeste	Norte
1	El Minche	Captación	75° 17' 59,813"	2° 40' 31,422"
		Obra Hidráulica	75° 17' 59,109"	2° 40' 29,384"
2	El Hospital	Captación	75° 18' 44,90"	2° 40' 14,47"
		Obra Hidráulica	75° 18' 44,89"	2° 40' 12,62"
3	Montegrande	Captación	75° 18' 32,63"	2° 40' 23,84"
		Obra Hidráulica	75° 18' 36,69"	2° 40' 23,164"
4	La Mora	Captación	75°17'53,53"	2° 40' 29,72"
		Obra Hidráulica	75°17'51,5"	2° 40' 29,2"
5	La Honda	Captación	75° 18' 1,049"	2° 40' 51,46"

Obra Hidráulica 75° 18' 0,50" 2° 40' 51,335"

Tabla 4-1: Coordenadas de las Obras Hidráulicas.

4.2 Elaboración de los planos de ubicación de las Obras Hidráulicas

Los planos de localización se realizaron utilizando la información obtenida de los datos abiertos de la subdirección de Cartografía y Geografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC de la red hídrica, redes de transporte y límites municipales del departamento del Huila a escala 1: 25.000 y, mediante el software QGIS se procedió a la elaboración de los planos.

En los anexos A-1, A-2, A-3, A-4 y A-5, se encuentran los planos de localización de las acequias El Minche, El Hospital, La Mora, Montegrande y La Honda respectivamente.

4.3. Cálculos hidráulicos

Durante la visita de campo a las acequias El Minche, La Mora, El Hospital y Montegrande de la Quebrada Caraguaja, así como a la acequia La Honda de la Quebrada La Rocha, todas ubicadas en el municipio de Campoalegre, se procedió a medir las dimensiones de ancho y tirante de cada una de estas acequias utilizando una cinta métrica. Es importante destacar que el caudal de diseño fue determinado de acuerdo a lo establecido en la resolución 1218 del 13 de mayo de 2019, emitida por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM, como se puede observar a continuación.

No	Acequia	Tirante (y1) (m)	Ancho (b) (m)	Caudal Diseño (l/s)
1	El Minche	0,2	0,3	9,11
2	El Hospital	0,2	0,3	9,53
3	Montegrande	0,2	0,5	36.59

No	Acequia	Tirante (y1) (m)	Ancho (b) (m)	Caudal Diseño (l/s)
4	La Mora	0,2	0,5	35,29
5	La Honda	0,2	0,3	21,63

Tabla 4-2: Dimensiones y Caudal de los Canales.

En la tabla anterior se presentan los datos esenciales para el diseño de obras hidráulicas específicas. La decisión se basó en la eficiencia de medición, y se optó por implementar canaletas Parshall para medir el caudal en las acequias Montegrande y La Mora, dado el mayor volumen de agua que fluye en estas acequias. En contraste, para las acequias El Minche, El Hospital y La Honda, donde el flujo es menor, se optó por diseñar vertederos como obras de medición de caudal.

Además, es importante señalar que todas las acequias mencionadas anteriormente contaron con un diseño de compuertas integrado. Estas compuertas desempeñarán un papel crucial en la regulación y control del flujo de agua, garantizando así un funcionamiento óptimo de las obras hidráulicas y una gestión eficiente de los recursos hídricos en cada una de las acequias.

4.3.1 Resultados de los cálculos de las obras hidráulicas

A continuación, se presentan los resultados de los cálculos, los cuales han sido obtenidos siguiendo la metodología, los criterios y ecuaciones específicas que se han tenido en cuenta en el proceso de diseño de las compuertas para cada una de las acequias que comprende el alcance del presente proyecto.

		Monte grande	La Mora	El Minche	El Hospital	La Honda	
Tirante	Y	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	m
Coefiente de Gasto	Cd	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	-
Ancho	b	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	m
Coefiente de Contracción	Cc	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	-
Abertura	-	6,16	5,94	2,55	2,67	6,07	cm
Y1/a	-	3,25	3,37	7,83	7,48	3,3	-
Recalcula	Cd	0,562	0,5635	0,5804	0,5797	0,5629	-
Abertura Final	a	6,57	6,32	2,64	2,77	6,47	-
Coeficiente de Velocidad	Cv	0,99	0,989	0,972	0,97	0,989	-
Velocidad Teorica	V2	1,81	1,81	1,9	1,9	1,81	m/s
Velocidad Real	V2	1,79	1,79	1,85	1,85	1,79	m/s
Y2	-	4,07	3,92	1,64	1,71	4,01	m
Velocidad	V1	0,36	0,35	0,15	0,16	0,36	m/s
Altura Compuerta	H	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	m
Altura Total	HT	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	m

Tabla 4-3: Dimensiones de las compuertas para cada acequia.

En la Tabla 4-3 se presentan los datos relacionados con las dimensiones de las compuertas diseñadas. Como se puede observar la abertura de las compuertas es significativamente mayor en el caso de las acequias Monte grande y La Mora. Esta diferencia se debe al hecho de que el caudal concesionado es considerablemente más alto en estas dos acequias en comparación con las acequias El Minche, El Hospital y La Honda.

Considerando la metodología empleada en este trabajo para el diseño de la canaleta Parshall en las acequias Monte grande y La Mora, se detallan las dimensiones requeridas en la Tabla 4-4: Dimensiones de la canaleta Parshall de las acequias Monte grande y La Mora. Estos diseños presentan las mismas dimensiones debido a que el ancho de garganta fue el mismo en ambos casos.

Debido a que el caudal concesionado para ambas acequias se encuentra entre el rango de caudal mínimo de 1.52 l/s y caudal máximo de 110.4 l/s, teniendo en cuenta la tabla 3-1 en el apartado numeral 3.3.3 Diseño de canaleta Parshall, se determina un ancho de garganta de 6 pulgadas. Finalmente, a partir del ancho de garganta se establecen las dimensiones estándar de un medidor Parshall como se especifica en la tabla 4-4.

Secciones de la canaleta	Nomenclatura (Secciones de la canaleta)	Acequias Montegrande y La Mora	Unidades
Long. Paredes sección convergente	A	0,621	m
Long. sección convergente	B	0,61	m
Ancho de la salida	C	0,394	m
Ancho entrada sección convergente	D	0,403	m
Profundidad total	E	0,457	m
Longitud de la garganta	F	0,305	m
Longitud de la sección divergente	G	0,61	m
Long. Paredes sección divergente	K	0,076	m
Dif. De elevación entre salida y cresta	N	0,114	m
Ancho del Cuello	W	0,152	m

Tabla 4-4: Dimensiones de la canaleta Parshall de las acequias Montegrande y La Mora.

Teniendo en cuenta nuevamente el enfoque metodológico aplicado en esta investigación para calcular las dimensiones de los vertederos destinados a las acequias El Minche, El Hospital y La Honda, se presentan las dimensiones en la Tabla 4-5.

Analizando el diseño de los tres vertederos, se puede observar que las dimensiones son las mismas para las acequias El Minche y El Hospital. No obstante, se evidencia que la carga sobre el vertedero (h) es el único valor que varía, debido al caudal concesionado en cada una de las acequias.

Secciones del vertedero	Nomenclatura (Secciones del vertedero)	Acequias			Unidades
		El Minche	El Hospital	La Honda	
Ancho del vertedero	B	0,52	0,52	0,52	m
ancho de la contracción	b	0,11	0,11	0,11	m
Altura del umbral	P	0,14	0,14	0,25	m
altura del vertedero	H	0,34	0,34	0,5	m
Longitud de cresta	L	0,3	0,3	0,3	m
Carga sobre el vertedero	h	0,066	0,068	0,122	m
Número de contracciones	n	2	2	2	-
Coeficiente de descarga	Cd	1,84	1,84	1,84	-

Tabla 4-5: Dimensiones de los vertederos de las acequias El Minche, El Hospital y la Honda.

4.3.2 Planos de las obras hidráulicas

Los planos de las obras hidráulicas se realizaron utilizando los resultados de los cálculos evidenciados en las tablas 4-3, 4-4 y 4-5. Posteriormente, se empleó el software de diseño asistido por computadora AutoCAD para desarrollar estos planos. Entre ellos se incluyen 2 canaletas Parshall destinadas a las acequias La Mora y Montegrande, así como 3 vertederos para las acequias El Minche, El Hospital y La Honda. Es importante destacar que, además de las estructuras mencionadas, se diseñó una compuerta individual para cada una de las acequias.

En los anexos B-1, B-2, B-3, B-4 y B-5 se encuentran los planos de los diseños de las obras hidráulicas de las acequias La Mora, El Hospital, Montegrande, El Minche y La Honda respectivamente.

4.4. Presupuesto General

Se elaboró un modelo de presupuesto que abarca las obras hidráulicas específicamente diseñadas para cada una de las acequias. Este presupuesto general incluye aspectos como materiales, mano de obra especializada, equipos, y elementos relevantes para la culminación exitosa de la obra. El propósito fundamental es proporcionar a los usuarios la información necesaria para comprender el alcance y la inversión requerida en el desarrollo de estas infraestructuras hidráulicas.

PRESUPUESTO DE OBRA ACEQUIA LA MORA Y MONTEGRANDE

ITEMS	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	V. TOTAL
1.0	EXCAVACIONES Y LLENOS				
1.1	Descapote manual más retiro H = 0,30 m	m2	3,75	\$ 4.080	\$ 15.300
1.2	Excavación manual de cimentación H = 0,20 m	m2	0,2	\$ 11.000	\$ 2.200
2.0	ELEMENTOS DE CONCRETO				
2.1	Solado de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, de 5 cm de espesor, de concreto $f'c = 100\text{kg/cm}^2$ (10Mpa), tamaño máximo del agregado 19 mm, manejabilidad blanda, preparado en obra y fundido con medios manuales, en el fondo de la excavación previamente realizada.	m3	0,1	\$ 368.750	\$ 36.875

2.2	Suministro e instalación de Concreto ciclópeo para canaleta Parshall 60 % de 3000PSI y 40% en piedra media songa y muros de sección transversal 0,2mx0,9m, Altura = 0,45m	m3	1,1	\$ 443.511	\$ 487.862
3.0	COMPUERTA METALICA (0.5 X 0.7 M)				
3.1	La compuerta metálica será en hierro; el mecanismo de elevación será mecánico. El acabado exterior de la compuerta será con pintura anticorrosiva sobre la que se colocarán dos capas de pintura de esmalte mate. Dimensiones 50cm x 70cm con mecanismo de izaje por medio de rieles que tendrá dimensiones de 50cm x 30cm controlados por medio de un volante que permite la abertura de la compuerta.	UND	1	\$ 365.000	\$ 365.000
4.0	REGLETA DE MEDICION				
4.1	Regla Graduada en material de acero inoxidable ASTM - A276, e=1/4", los bordes de las letras y números serán grabados en bajo relieve. Colocar anclaje $\varnothing 1/2"$, L 0.15m, @0.20m en cada borde lateral, pintura anticorrosiva epóxica y esmalte.	UND	1	\$ 250.000	\$ 250.000
5.0	REJILLA METALICA				
5.1	Rejilla Metálica de dimensiones 0.5m x 0.3m. Se refiere al suministro e instalación final de una rejilla metálica, que será fabricada de varilla de acero de construcción de 25.4 mm. de diámetro con una separación entre barrotes de 0.02 m en los dos sentidos de acuerdo a lo dispuesto en los planos de detalle respectivo.	UND	1	\$ 193.000	\$ 193.000
6.0	OBRAS COMPLEMENTARIAS				
6.1	Instalación y calibración de compuerta metálica con su respectiva rejilla metálica, y regleta de medición de	hr.	5	\$ 11.563	\$ 57.815

	acuerdo con las especificaciones técnicas.				
Valor Total					\$ 1.408.052

Tabla 4-6: Presupuesto de obra acequia La Mora y Montegrande.

PRESUPUESTO DE OBRA ACEQUIA EL MINCHE Y HOSPITAL

<i>ITEMS</i>	<i>CONCEPTO</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>P. UNITARIO</i>	<i>V. TOTAL</i>
1.0	EXCAVACIONES Y LLENOS				
1.1	Descapote manual más retiro H = 0,20 m	m2	2,55	\$ 4.080	\$ 10.404
1.2	Excavación manual de cimentación H = 0,30 m	m2	0,3	\$ 11.000	\$ 3.300
2.0	ELEMENTOS DE CONCRETO				
2.1	Solado de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, de 5 cm de espesor, de concreto f'c= 100kg/cm2 (10Mpa), tamaño máximo del agregado 19 mm, manejabilidad blanda, preparado en obra y fundido con medios manuales, en el fondo de la excavación previamente realizada.	m3	0,1	\$ 368.750	\$ 36.875
2.2	Concreto ciclópeo, realizado con concreto f'c = 170kg/cm2 (17Mpa), tamaño máximo del agregado 25mm, manejabilidad blanda, preparado en obra y fundido con medios manuales (60% de volumen) y piedra bola de 15 a 30 cm de diámetro (40% de volumen).	m3	0,84	\$ 443.511	\$ 372.549
3.0	COMPUERTA METALICA (0.3 X 0.7 M)				
3.1	La compuerta metálica será en hierro; el mecanismo de elevación será mecánico. El acabado exterior de la compuerta será con pintura anticorrosiva sobre la que se colocarán dos capas de pintura de esmalte mate. Dimensiones 50cm x 40cm con mecanismo de izaje por medio de rieles que tendrá	UND	1	\$ 330.000	\$ 330.000

	dimensiones de 50cm x 80cm controlados por medio de un volante que permite la abertura de la compuerta.				
4.0	VERTEDERO METALICO (0.5m x 0.3m)				
4.1	Vertedero Metálico consiste en una lámina metálica, que será fabricada de acero de 14 in de espesor con una separación de acuerdo a lo dispuesto en los planos de detalle respectivo.	UND	1	\$ 62.684	\$ 62.684
5.0	REGLETA DE MEDICION				
5.1	Regla Graduada en material de acero inoxidable ASTM - A276, e=1/4", los bordes de las letras y números serán grabados en bajo relieve. Colocar anclaje $\phi 1/2"$, L 0.15m, @0.20m en cada borde lateral, pintura anticorrosiva epóxica y esmalte.	UND	1	\$ 230.000	\$ 230.000
6.0	OBRAS COMPLEMENTARIAS				
6.1	Instalación y calibración de compuerta metálica con regleta de medición de acuerdo con las especificaciones técnicas.	hr	3	\$ 11.563	\$ 34.689
6.2	Suministro e instalación de vertedero Metálico de dimensiones de acuerdo a lo dispuesto en los planos de detalle respectivo.	hr	1	\$ 11.563	\$ 11.563
Valor Total					\$ 1.092.064

Tabla 4-7: Presupuesto de obra acequia El Minche y El Hospital.

PRESUPUESTO DE OBRA ACEQUIA LA HONDA

ITEMS	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	V. TOTAL
1.0	EXCAVACIONES Y LLENOS				
1.1	Descapote manual más retiro H = 0,20 m	m2	2,5	\$ 4.080	\$ 10.200
1.2	Excavación manual de cimentación H = 0,30 m	m2	0,32	\$ 11.000	\$ 3.520
2.0	ELEMENTOS DE CONCRETO				

2.1	Solado de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, de 5 cm de espesor, de concreto $f'c = 100\text{kg/cm}^2$ (10Mpa), tamaño máximo del agregado 19 mm, manejabilidad blanda, preparado en obra y fundido con medios manuales, en el fondo de la excavación previamente realizada.	m3	0,1	\$ 368.750	\$ 36.875
2.2	Concreto ciclópeo, realizado con concreto $f'c = 170\text{kg/cm}^2$ (17Mpa), tamaño máximo del agregado 25mm, manejabilidad blanda, preparado en obra y fundido con medios manuales (60% de volumen) y piedra bola de 15 a 30 cm de diámetro (40% de volumen).	m3	0,99	\$ 443.511	\$ 439.076
3.0	COMPUERTA METALICA (0.3 X 0.7 M)				
3.1	La compuerta metálica será en hierro; el mecanismo de elevación será mecánico. El acabado exterior de la compuerta será con pintura anticorrosiva sobre la que se colocarán dos capas de pintura de esmalte mate. Dimensiones 30cm x 30cm con mecanismo de izaje por medio de rieles que tendrá dimensiones de 30cm x 70cm controlados por medio de un volante que permite la abertura de la compuerta.	UND	1	\$ 330.000	\$ 330.000
4.0	VERTEDERO METALICO (0.5m x 0.5m)				
4.1	Vertedero Metálico consiste en una lámina metálica, que será fabricada de acero de 1/4 in de espesor con una separación de acuerdo a lo dispuesto en los planos de detalle respectivo.	UND	1	\$ 80.684	\$ 80.684
5.0	REGLETA DE MEDICION				
5.1	Regla Graduada en material de acero inoxidable ASTM - A276, $e=1/4"$, los bordes de las letras y números serán grabados en bajo relieve. Colocar anclaje $\phi 1/2"$, L 0.15m, @0.20m en cada borde lateral, pintura anticorrosiva epóxica y esmalte.	UND	1	\$ 230.000	\$ 230.000
6.0	OBRAS COMPLEMENTARIAS				
6.1	Instalación y calibración de compuerta metálica con regleta de medición de acuerdo con las especificaciones técnicas.	hr	3	\$ 11.563	\$ 34.689

6.2	Suministro e instalación de vertedero Metálico de dimensiones de acuerdo a lo dispuesto en los planos de detalle respectivo.	hr	1	\$ 11.563	\$ 11.563
Valor Total					\$ 1.176.607

Tabla 4-8: Presupuesto de obra acequia la Honda.

4.5 Actividades de manejo, mantenimiento y operación de las estructuras hidráulicas de medición y control

Las actividades de manejo, mantenimiento y operación de estructuras hidráulicas de medición y control son fundamentalmente importantes para garantizar su eficacia a largo plazo.

Manejo y Operación:

Calibración Regular: Realizar calibraciones periódicas para garantizar la precisión de las mediciones.

Registro de Datos: Llevar un registro detallado de las mediciones obtenidas, fechas de calibración y cualquier anomalía observada en el funcionamiento con el objetivo de garantizar el ingreso del caudal concesionado a cada predio.

Supervisión Continua: Monitorear el funcionamiento constante para detectar cualquier irregularidad en la medición y tomar medidas correctivas.

Capacitación del Personal: Asegurarse de que el personal encargado esté capacitado para operar las estructuras correctamente y responder adecuadamente ante situaciones de emergencia.

Mantenimiento:

Inspecciones Programadas: Realizar inspecciones regulares para identificar desgastes, obstrucciones u otros problemas que puedan afectar la precisión de la medición.

Limpieza y Mantenimiento: Mantener las estructuras limpias y libres de sedimentos o residuos que puedan alterar las mediciones.

Reparaciones y Reemplazos: Realizar reparaciones inmediatas en caso de daños o mal funcionamiento, y considerar el reemplazo de partes desgastadas según sea necesario.

Gestión Administrativa:

Planificación de Recursos: Garantizar la disponibilidad de recursos necesarios para el mantenimiento, incluyendo personal, herramientas y repuestos.

Preservación de documentación: Mantener registros detallados de los mantenimientos realizados, informes de inspecciones y cualquier cambio o mejora implementada en las estructuras.

Protocolos de Emergencia:

Plan de Contingencia: Desarrollar y mantener un plan de contingencia para situaciones de emergencia que puedan afectar las estructuras de medición tales como avenidas torrenciales entre otros eventos fortuitos.

Respuesta ante Incidentes: Establecer protocolos claros de acción en caso de desastres naturales, obstrucciones inesperadas o cualquier situación que pueda afectar el funcionamiento de las estructuras.

Estas actividades anteriormente mencionadas deben formar parte de un plan integral de gestión que garantice la efectividad y confiabilidad de las estructuras hidráulicas de medición y control a lo largo del tiempo.

Capítulo 5

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Aplicando los parámetros establecidos en la normativa vigente de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena, se realizaron los diseños pertinentes de las estructuras de control requeridas para las acequias El Minche, La Mora, El Hospital y Montegrande de la Quebrada Caraguaja, y la acequia La Honda de la Quebrada La Rocha, según los caudales concesionados por esta corporación.
- Se elaboró un presupuesto general de los costos y cantidades de obra para las obras de medición y control diseñadas para las acequias El Minche, La Mora, El Hospital y Montegrande de la Quebrada Caraguaja, y la acequia La Honda de la Quebrada La Rocha.
- Se establecieron actividades para el manejo, mantenimiento y operación de las estructuras hidráulicas diseñadas, esto con el objetivo de incrementar la eficiencia, garantizar la durabilidad de las obras, además de mantener una gestión sostenible y racional del recurso hídrico.
- La aplicación de técnicas para el diseño de las obras de medición de caudal permitirá una distribución óptima, además se lograría un control del recurso hídrico por parte de los usuarios, quienes generalmente no aplican instrumentos para el monitoreo de las aguas que reciben y usan.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda la implementación de la construcción de las obras hidráulicas diseñadas en el presente proyecto para la eficiente gestión del recurso hídrico y el adecuado suministro de agua a los concesionados por la Autoridad Ambiental. Adicionalmente, establecer un programa de supervisión técnica durante la implementación del proyecto para garantizar que la construcción e instalación de las obras hidráulicas, se lleven a cabo de acuerdo con los estándares y especificaciones establecidos en el diseño.

Se aclara que estos Diseños Hidráulicos deben ser calibrados según las condiciones del sitio al momento de realizar la construcción, debido a que los datos presentados son teóricos y pueden presentar variedades de condiciones a lo largo del tiempo.

Finalmente, se recomienda realizar actualizaciones del presupuesto a medida que avance el proyecto para asegurar una gestión financiera efectiva y prevenir posibles desviaciones presupuestarias. La planificación financiera debe ser flexible y adaptarse a cambios en los costos o a la necesidad de ajustes en el diseño.

LOCALIZACIÓN

REPUBLICA DE COLOMBIA

DEPARTAMENTO HUILA

MUNICIPIO DE CAMPOALEGRE

CAMPOALEGRE

ACEQUÍA EL MINCHE

PROYECTO DE DISEÑO HIDRÁULICO DE LAS OBRAS DE CONTROL PARA LA CONDUCCIÓN DE AGUA DE LA QUEBRADA LA CARACACA "ACEQUÍA EL MINCHE" EN EL MUNICIPIO DE CAMPOALEGRE SEGÚN RESOLUCIÓN 001216 DEL 13 DE MAYO DEL 2019

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

CONVENIO COOPERACIÓN INSTITUCIONAL SUSCRITO ENTRE UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA & CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGINAL DEL ALTO MAGDALEÑA (CAM) 15 DE SEPTIEMBRE DEL 2016

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

DATUM: MAGNÉTICO NACIONAL
PROYECCIÓN: Transversa Mercator
LATITUD: 4° N
LONGITUD: 77° W
FALSO NORTE: 2300000,000 m
FALSO EST.: 500000,000 m
FACTOR ESCALA: 6,000

CAPACIDAD DE DISEÑO: 9.11 litros / segundo

DOCENTE UNIVERSITARIO - USCO
ING. JHANE IGLESARIO BAUTISTA
70202 - 000055 T.M.

PROFESIONAL ESPECIALIZADO - SPICA (CAM)
ING. CESAR AUGUSTO BARRERO OTALORA

PRESENTE DE INGENIERIA CIVIL
KARLA ALEXANDRA BARRERO MOLINA

1:10,000

LOCALIZACIÓN

PLANOS DISEÑO ACEQUÍA EL MINCHE

FECHA: JUNIO DE 2022

PLANO: 1/2

Figura A-1: Plano de Localización de las Obras Hidráulicas para la concesión de agua de la Quebrada la Caraguaja en la Acequia El Minche.

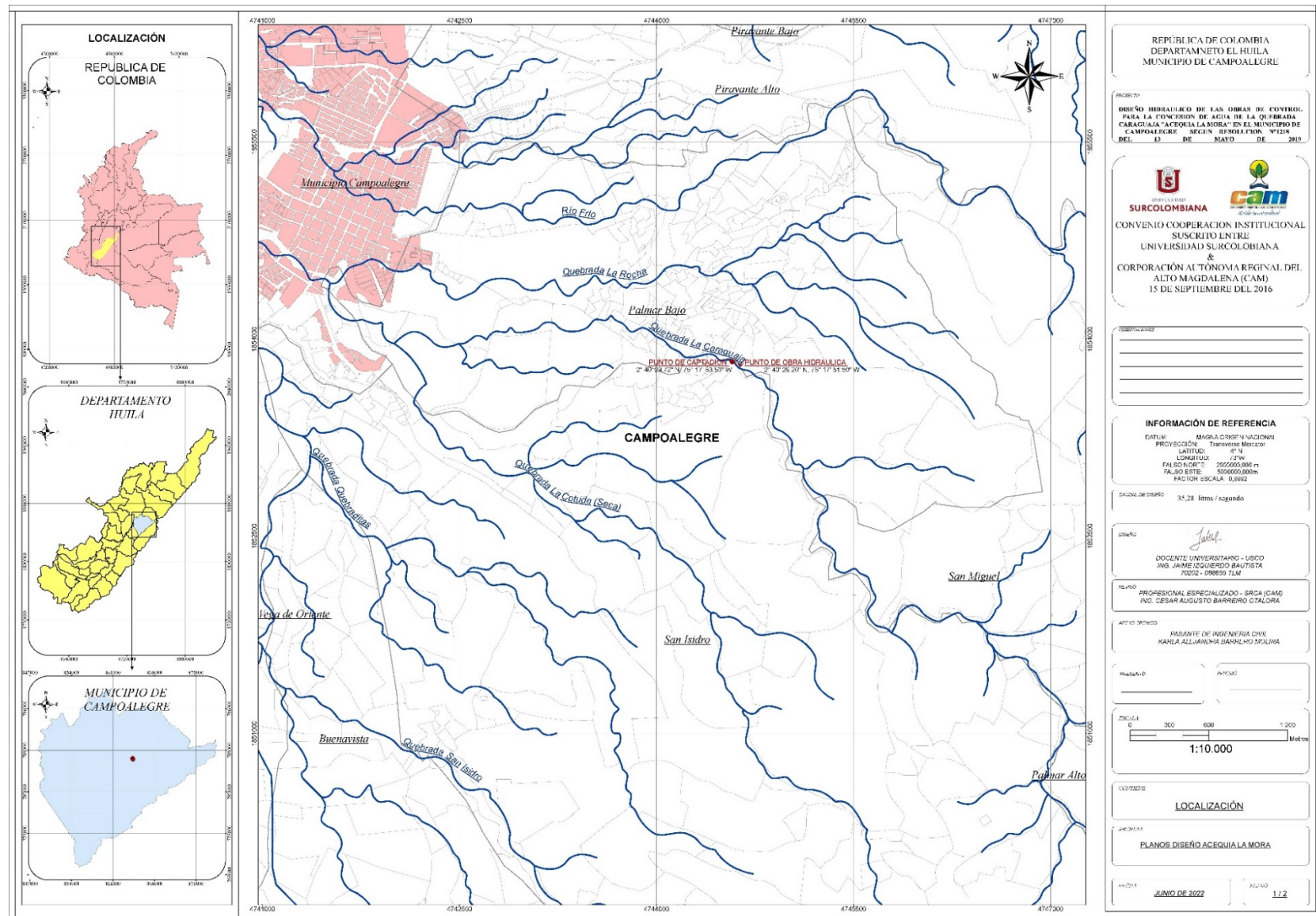


Figura A-3: Plano de Localización de las Obras Hidráulicas para la concesión de agua de la Quebrada la Caraguaja en la Acequia La Mora.

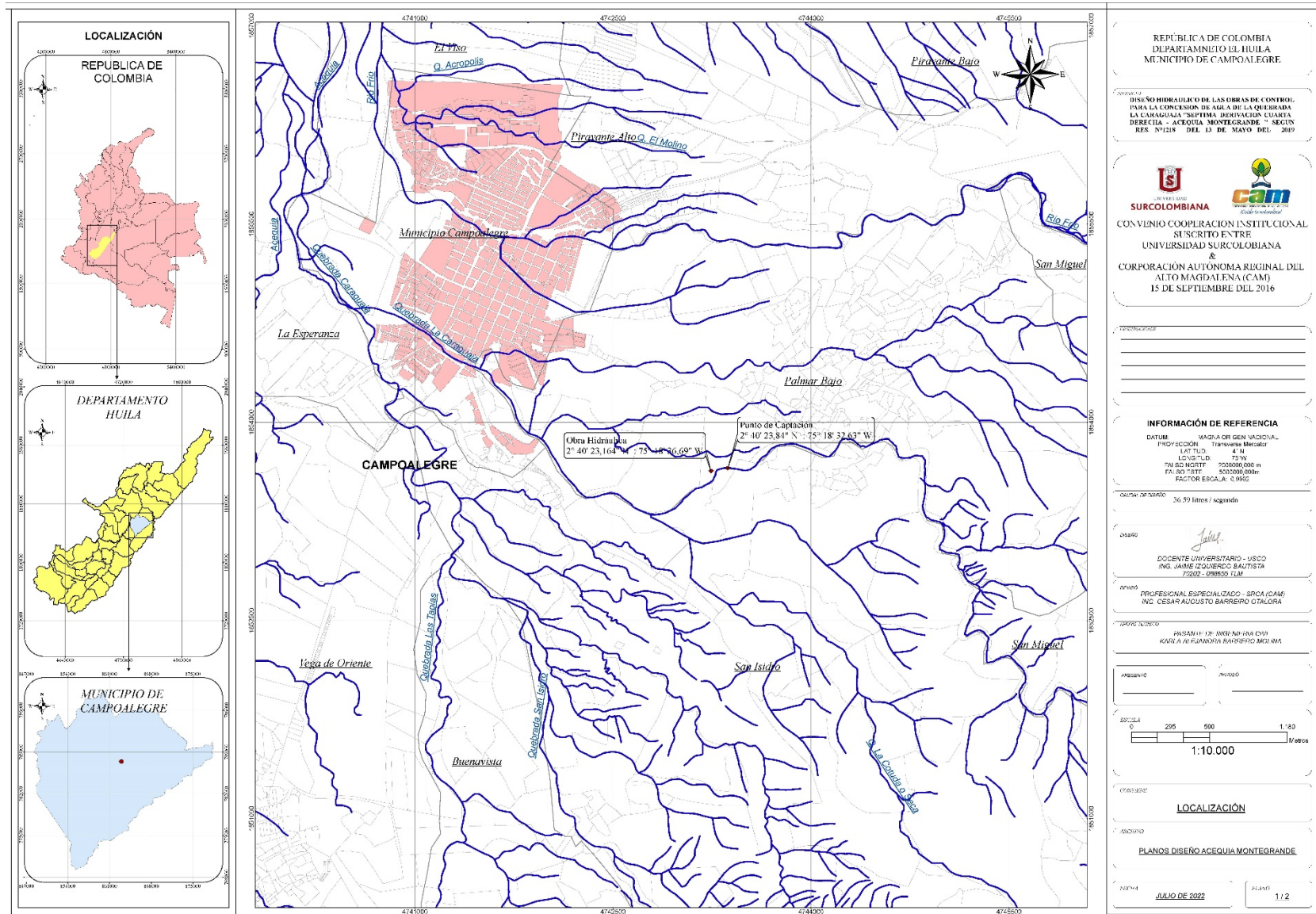


Figura A-4: Plano de Localización de las Obras Hidráulicas para la concesión de agua de la Quebrada la Caraguaja en la Acequia Montegrande.

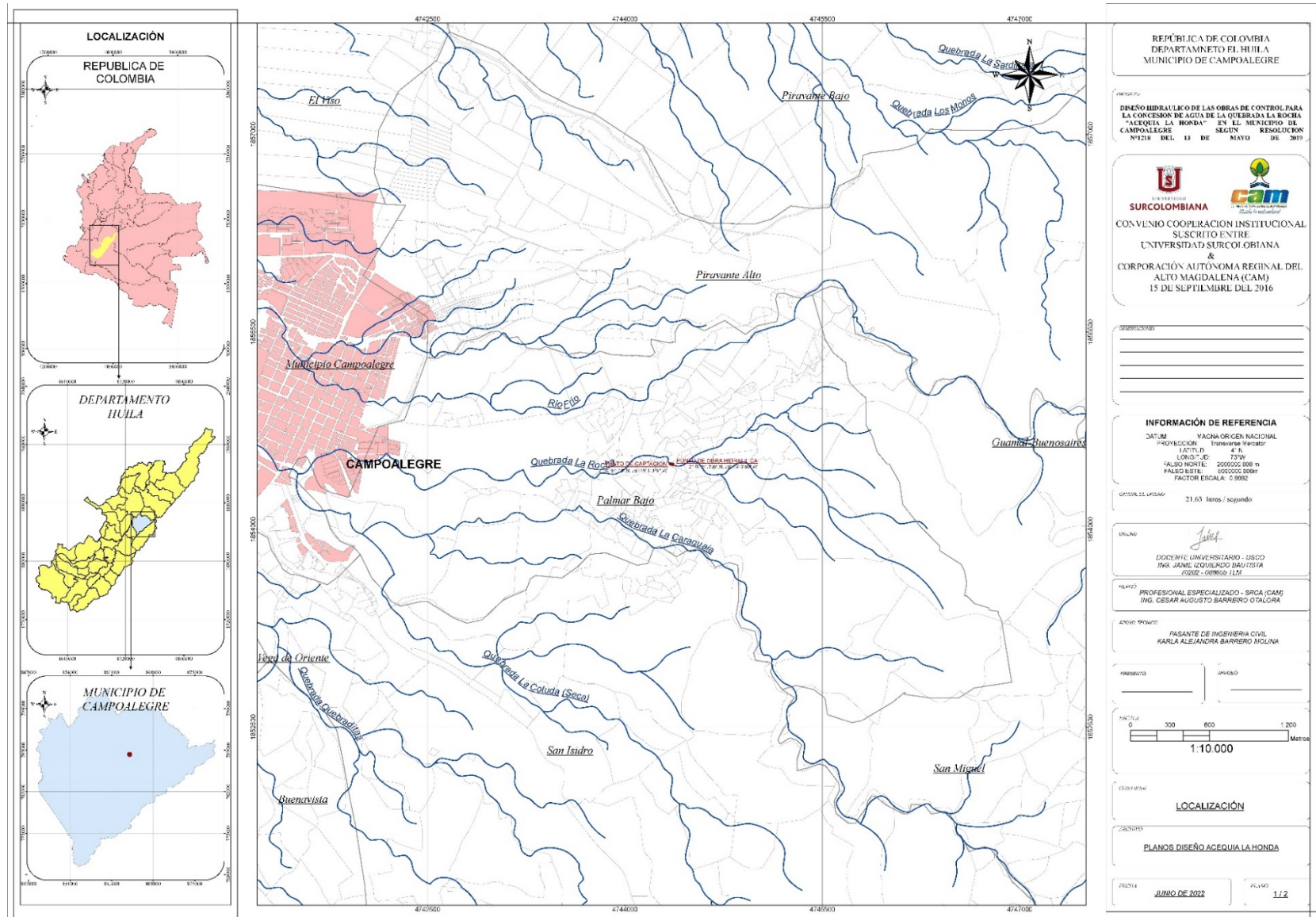
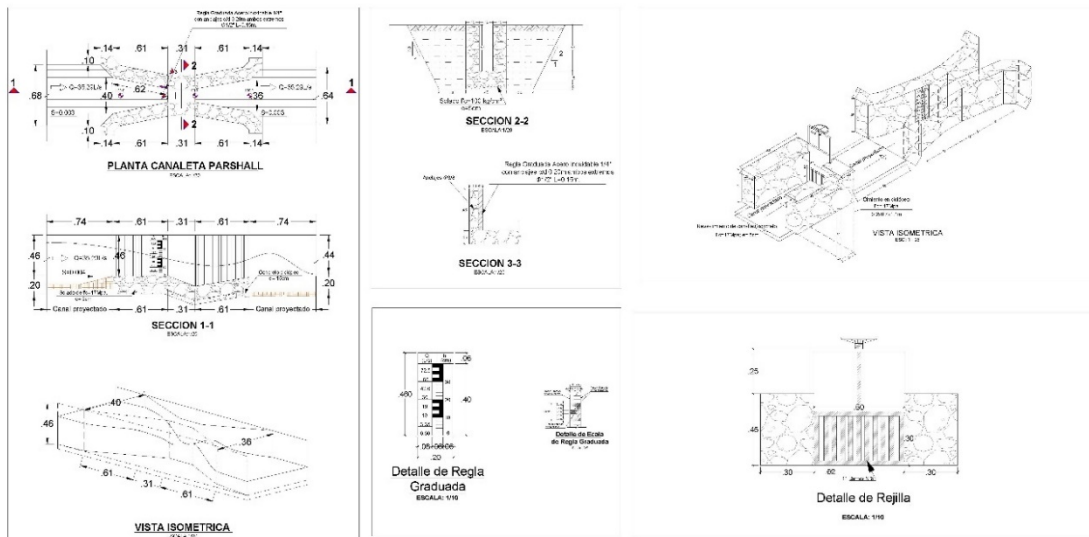
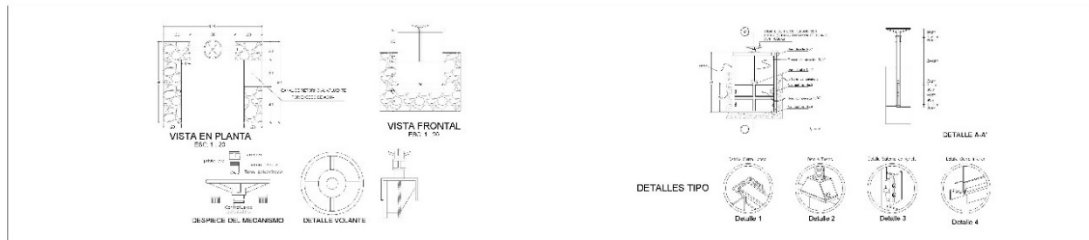


Figura A-5: Plano de Localización de las Obras Hidráulicas para la concesión de agua de la Quebrada La Rocha en la acequia La Honda.

B. Anexo: Planos de obras hidráulicas



CUADRO DE CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE MEDIDOR PIRNHALL													CRITERIOS DE DISEÑO					
NOMBRE DEL CANAL	PRENSOR TIPO	A	B	C	D	E	F	G	K	N	W	Posición de Descarga del Medidor (m ² /s)	Q _{max} (l/s)	Q _{min} (l/s)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	h ₃ (m)	h ₄ (m)
Ac. La Mora	Pirnhall	0,621	0,61	0,394	0,403	0,457	0,305	0,610	0,076	0,114	0,152	$Q = 0.381 (H_1)^{0.88}$	110.44	1.42	0.222	0.007	0.272	0.234

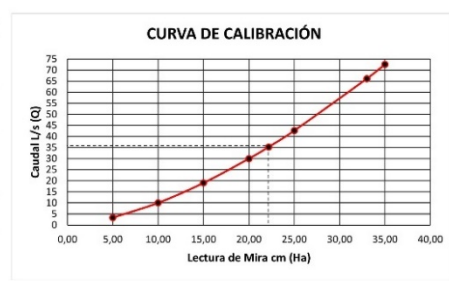


ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Piese y número de medida: Contorno Cilíndrico $\varnothing=17$ Mpa
- Címbalo Portátil Tipo 1
- Címbalo interno Tipo 2
- Címbalo A COAXIAL
- Material de acero inoxidable ASTM - A276 - 316
- Los bordes son los lados y números son los grabados en boca inferior.
- Los lados son $\varnothing 127,0 \pm 0,05$ (0.20 en cada borde inferior).
- Acero Pintura Base "VOSH" (MIL-PRF-13120), Pintura Anticorrosión Epoxico y Estante
- Pintar los lados y números de color negro sobre fondo blanco.

NOTAS

1. La construcción del medidor debe ajustarse al máximo de presión autorizada establecida en dimensiones y en las indicaciones en el plano
2. La regla graduada de uso habitual debe verse de verificar la era (B) de la estructura según diseño.
3. La calibración de la regla graduada se proporciona a partir de la medición de la longitud. Por lo tanto, la longitud de la regla graduada debe ser la longitud efectiva, los valores de la escala y niveles de agua.
4. Calcular modificación al diseño se ejemplifica según las condiciones de uso, presión, clima en la fabricación y el uso. Rendimiento.
5. El fabricante del proyecto: Imbed

[illegible]

REPÚBLICA DE COLOMBIA DEPARTAMENTO DEL HUILA MUNICIPIO DE CAMPOALEGRE	
PROYECTO: DISEÑO HIDRÁULICO DE LAS OBRAS DE CONTROL PARA LA CONCESIÓN DE AGUA DE LA QUINTANA CARAGUZA "ACEQUIA LA MORA" PK 12, MUNICIPIO DE CAMPOALEGRE SEGÚN RESOLUCIÓN N° 1218 DEL 13 DE MAYO DE 2019.	
 UNIVERSIDAD SURCOCHIBIANA	 CAM CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ALTO MAGDALENA
CONVENIO COOPERACION INSTITUCIONAL SUSCRITO ENTRE: UNIVERSIDAD SURCOCHIBIANA & CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ALTO MAGDALENA (CAM) 15 DE SEPTIEMBRE DEL 2016	
FIRMAS ANTERIORES: 	
INFORMACIÓN DE REFERENCIA	
P. DE CAPTACION: N. 02°42'29.72" W. 76°17'59.53"	
OBRA HIDRÁULICA: N. 02°42'29.72" W. 76°17'16.18"	
CAPACIDAD DE CAUDALO: 35.29 litros / segundo	
DISEÑO:  DOCENTE UNIVERSITARIO - USCO ING. JAIRO IZQUIERDO BAUTISTA 710202 - 088655 TLM	
Nº PROFES: PROFESIONAL ESPECIALIZADO - SRGA (CAM) ING. CESAR AUGUSTO BARREIRO OTALCHA	
AUSENTE INGENIERO: PASANTE DE INGENIERÍA CIVIL KARLA ALEJANDRA BARRERO MOLINA	
IMPRESIONADO: 	RECIBIDO:
FECHA:	
INDICADAS	
CODIGO:	
OBRAS DE CONTROL, DETALLES Y ESPECIFICACIONES	
ANOTACIONES: PLANOS DISEÑO ACEQUIA LA MORA	
FOLIOS: JUNIO DE 2022	PLANO: 2/2

Figura B-1. Plano de Obra Hidráulica para la concesión de agua de la Quebrada la Caraguaja en la Acequia La Mora.

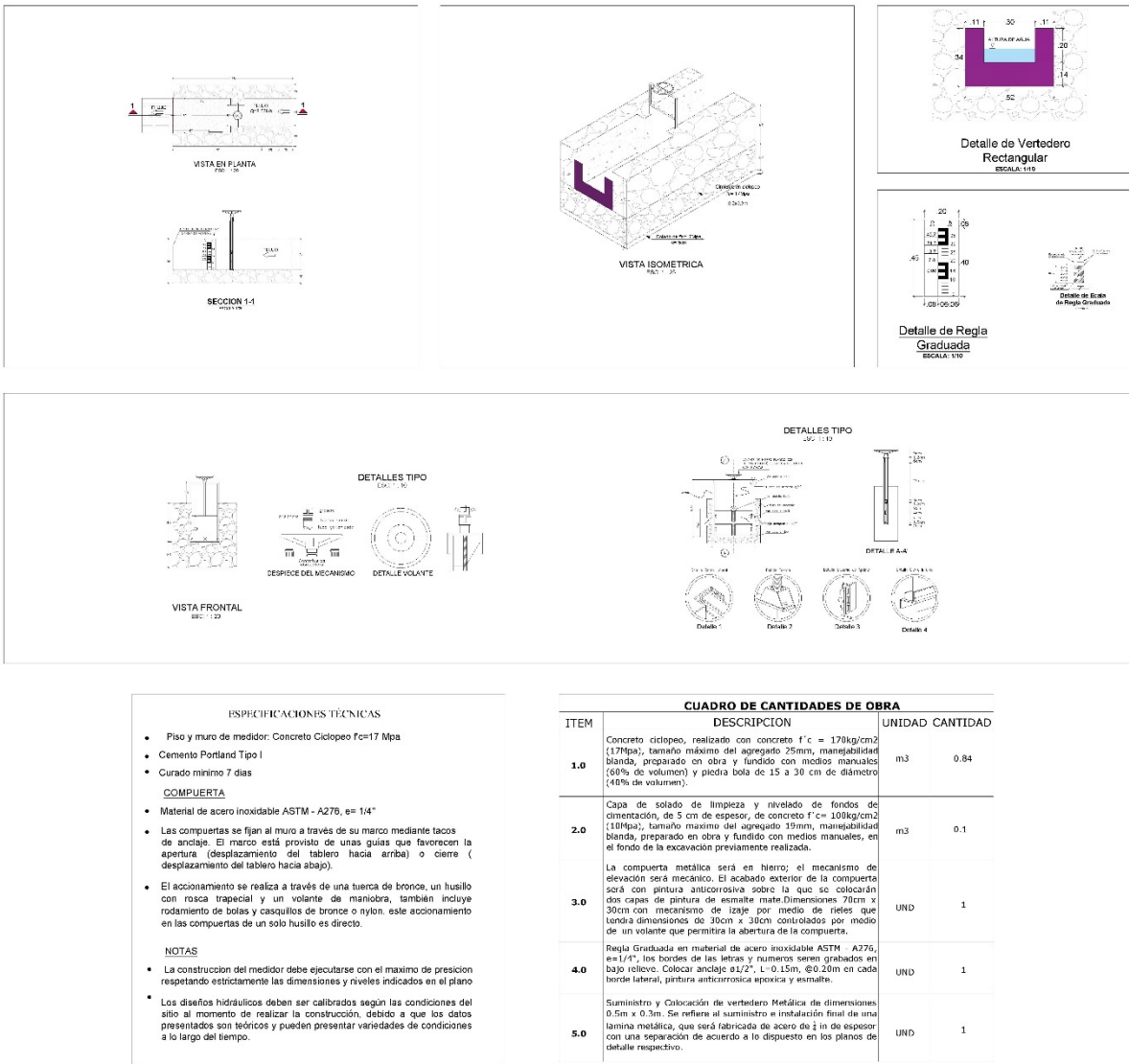


Figura B-2. Plano de Obra Hidráulica para la concesión de agua de la Quebrada la Caraguaja en la Acequia El Hospital.

REPUBLICA DE COLOMBIA
DEPARTAMENTO DEL HUILA
MUNICIPIO DE CAMPOALEGRE

PROYECTO
DISEÑO HIDRÁULICO DE LAS OBRAS DE CONTROL PARA LA
CONCESION DE AGUA DE LA QUEBRADA LA CARAGUAJA
"ACEQUIA EL HOSPITAL (SD-1)" EN EL MUNICIPIO DE
CAMPOALEGRE, SEGUN RESOLUCION N°12.8 DEL 13 DE
MAYO DE 2015.

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
cam
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL
ALTO MAGDALENA (CAM)
15 DE SEPTIEMBRE DEL 2016

CONCEPTO

INFORMACIÓN DE REFERENCIA
P. DE CAPTACIÓN:
N 02°43'4.47" W 75°18'44.50"
OBRA HIDRÁULICA:
N 02°40'2.02" W 75°18'44.80"

CAUDAL, m³/segundo
9.53 litros / segundo

USUARIO
DOCENTE UNIVERSITARIO - USCO
ING. JAMIE LOQUERDO BAUTISTA
70552 - 088653 114

APROBADO
PROFESIONAL ESPECIALIZADO - SRCA (CAM)
ING. DESAR AUGUSTO BARRERO OTALORA

APROBADO
PASANTE DE INGENIERIA CIVIL
KARLA ALEJANDRA BARRERO NOLINA

INDICADAS

OBRAS DE CONTROL, DETALLES
Y ESPECIFICACIONES

APROBADO
PLANOS DISEÑO ACEQUIA EL HOSPITAL

FECHA
JULIO DE 2022

PÁGINA
2 / 2

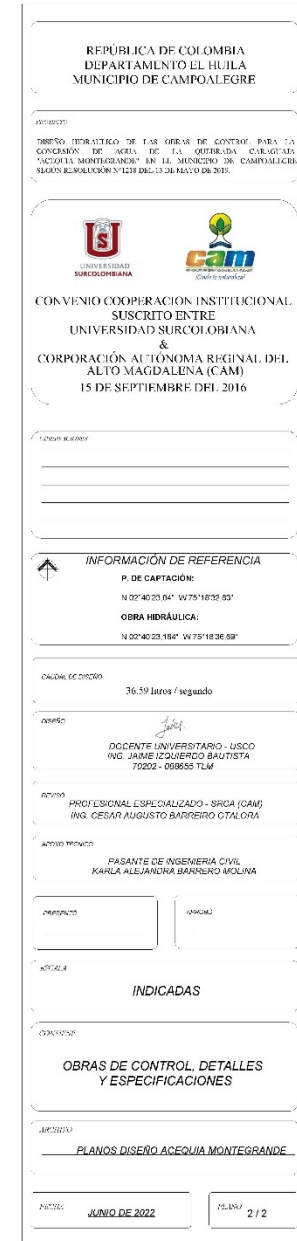


Figura B-3. Plano de Obra Hidráulica para la concesión de agua de la Quebrada la Caraguaia en la Acequia Montegrande.

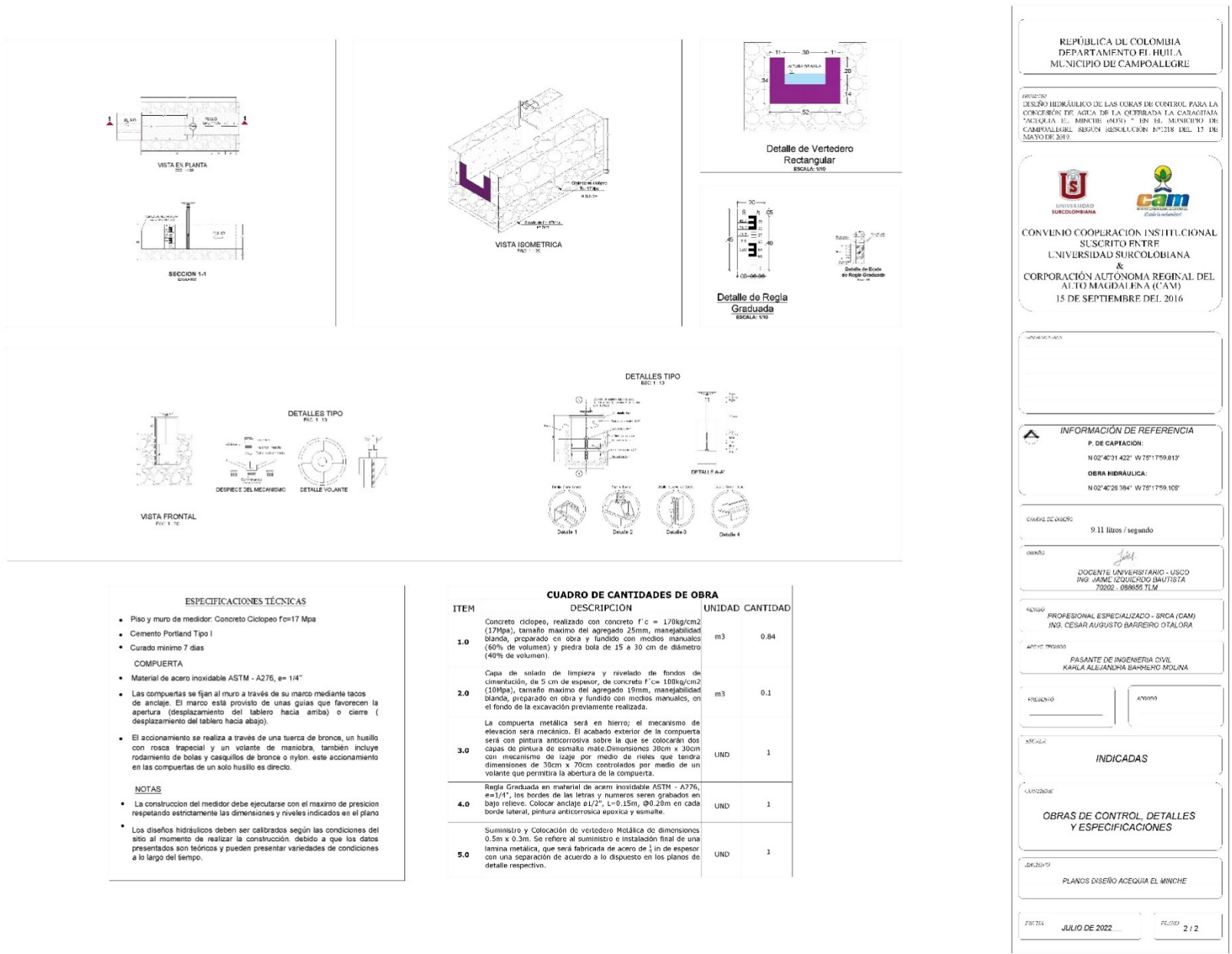


Figura B-4. Plano de Obra Hidráulica para la concesión de agua de la Quebrada la Caraguaja en la Acequia El Minche.

Anexo B. Planos de obras hidráulicas

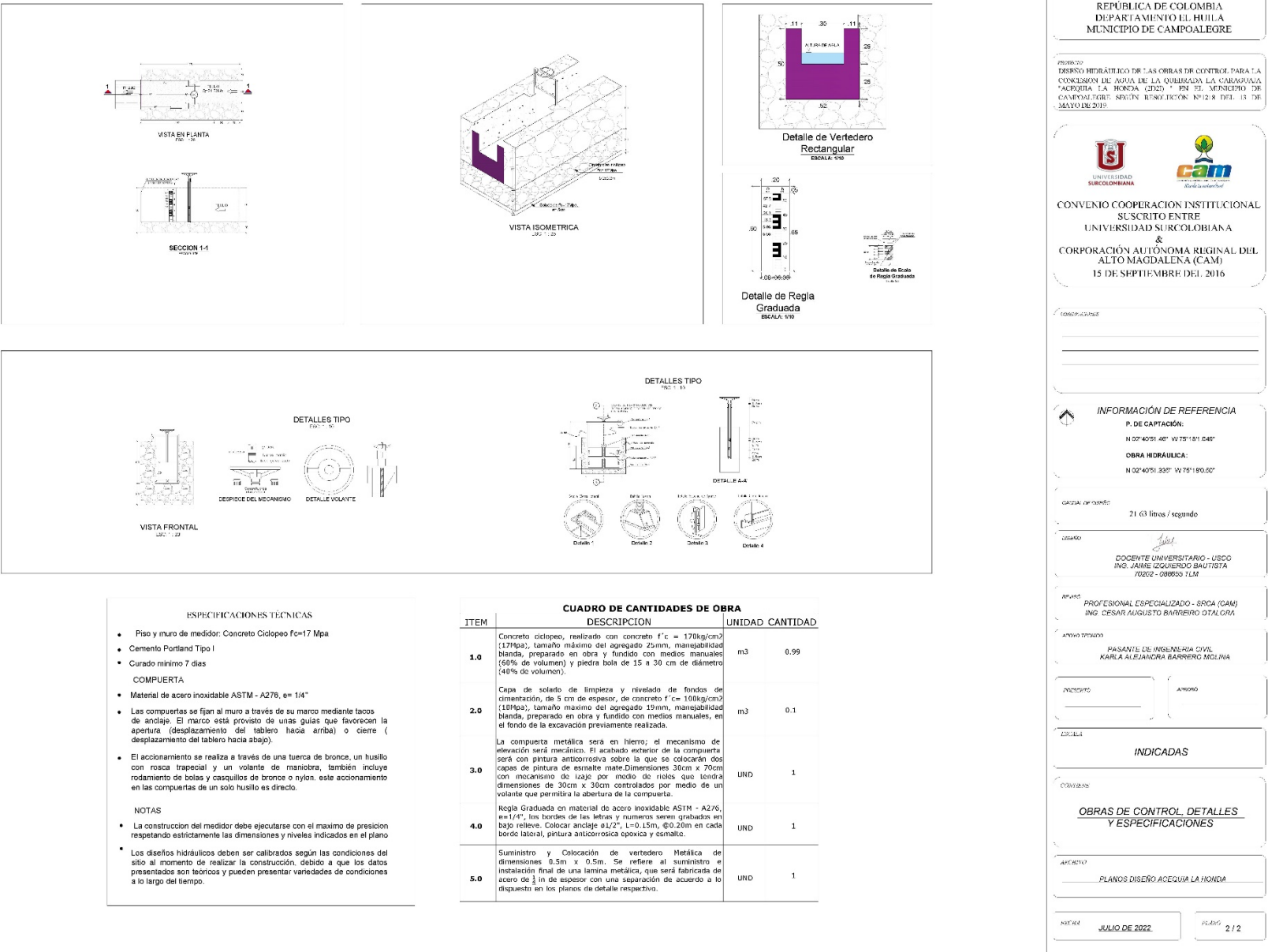


Figura B-5. Plano de Obra Hidráulica para la concesión de agua de la Quebrada La Rocha en la Acequia La Honda.

Bibliografía

Ali Khosronejad, William Herb, Fotis Sotiropoulos, Seokkoo Kang, Xiaolei Yang. (2021) Assessment of Parshall flumes for discharge measurement of open-channel flows: A comparative numerical and field case study, 167. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108292>

Alsayed I. Diwedat, Radwa M. Fathy, Ahmed M.I. Abd Elhamid, Mohamed Bahgat. (2023) A hybrid approach to assess the hydraulic structures rehabilitation work, case study: El-Bagoureya head regulator, Egypt, Alexandria Engineering Journal, 75. 67-79. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.05.068>

Álvaro Silva Ribeiro, João Alves e Sousa, Catarina Simões, Luís Lages Martins, Luís Dias, Ricardo Mendes, Catarina Martins, Parshall flumes flow rate uncertainty including contributions of the model parameters and correlation effects, Measurement: Sensors, Volume 18, 2021, 100108, ISSN 2665-9174, <https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100108>.

Baltodano, W & Morales, S. (2015). Diseño hidráulico de un canal de 1km de longitud que comprende parte de la zona 2, 5, 6 Y 11 del municipio de ciudad Sandino. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

Castelblanco, L. 2020. Diseño e Implementación de la Guía del Usuario para el Proceso de Autorización de Concesiones De Agua en La Corporación Autónoma Regional De Santander Sede De Apoyo Regional Comunera. UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA

Comisión Nacional del Agua. (2007). Sistemas de medición del agua: Producción, operación y consumo (9th ed.). México.

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena. (Extraído el 09 de marzo de 2023). Obtenido de <https://cam.gov.co/recurso-hidrico/corrientes-reglamentadas.html>

Gutiérrez, M. A. (2008). Cálculos Hidráulicos. España: EOI

Hao-Che Ho, Yu-Wei Chiu, Ting-Yu Chen, Yen-Cheng Lin, Flow measurement in open channels using imaging techniques in conjunction with a convolutional neural network,

Journal of Hydrology, Volume 618, 2023, 129183, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129183>.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). Entidades Ambientales. <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). Glosario. <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario>

Liping Jin, Chenhao Zhang, Bernie A. Engel, Xin Li, Yubao Wang, Hydraulic characteristics and flow measurement performance analysis of portable fish-shaped flumes in U-shaped channels, *Flow Measurement and Instrumentation*, Volume 90, 2023, 102327, ISSN 0955-5986, <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2023.102327>.

López, L. (2017). Desarrollo de un software específico para el cálculo de canales abiertos de flujo uniforme considerando los principios de energía. Universidad Técnica de Ambato

López Cualla, R. A. (2003). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados.

Marbello Pérez, R. V. (2005). Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Mayo 26, 2015). Decreto 1076 de 2015 Decreto de Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, Artículo 2.2.3.2.11.2

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Mayo 26, 2015). Decreto 1076 de 2015 Decreto de Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, Artículo 2.2.3.2.11.5

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Mayo 26, 2015). Decreto 1076 de 2015 Decreto de Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, Artículo 2.2.3.2.13.1

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Mayo 26, 2015). Decreto 1076 de 2015 Decreto de Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, Artículo 2.2.3.2.19.2

Resolución 1218 de 2019. Por La Cual Se Reglamenta Los Usos Y Aprovechamiento De Las Aguas De Río Neiva Y Sus Principales Afluentes Que Incluye La Quebrada Caraguaja, Las Quebradas Conductoras De Descoles: La Ciénaga, El Piñuelal, Santiago, El Igua, La Rocha Y Los Zanjones Conductores De Descoles: Chorrolindo, San Marcos, Cordoncillo Y El Silencio, Que Discurren Por Los Municipios De Campoalegre Y Rivera, En El Departamento Del Huila, 13 de mayo de 2019.

Romero Rojas, Jairo Alberto (2003). Potabilización del agua. 3ed.bogota, Escuela Colombiana de Ingeniería.

Ruíz, P. R. (2008). Hidráulica de canales.

Scott, V. H., & Houston, C. E. (1959). Measuring irrigation water.

Sotelo, G. (1991). Hidráulica General, Vol. 1, Fundamentos. Noriega Limusa, México.

Uribe C., Hamil, 2019. "Métodos de medición de agua en canales de riego". Boletín INIA N°412, 106 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Villa Alegre, Chile.