

# **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

“Diseño de una Estación de Aforo Continua para el Canal de  
Descarga de Efluentes Tratados de la Refinería Estatal de  
Esmeraldas”

### **TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

### **INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

Luis Fernando Gutiérrez Lara

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2005

## AGRADECIMIENTO

A Dios, que siempre estuvo conmigo durante este largo camino, y a todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo, en especial al Ing. Marco Pazmiño Director de Tesis, al Ing. Ramón Bedoya Jefe de la Unidad de Protección Ambiental y Seguridad Industrial de REE, a la Sra. Mercedes de Begué por su invaluable ayuda.

## DEDICATORIA


A MI FAMILIA,  
EN ESPECIAL A MÍ  
MADRE, YA QUE SIN  
SU INVALUABLE  
APOYO, NO HUBIESE  
SIDO POSIBLE  
LLEGAR A LA META.



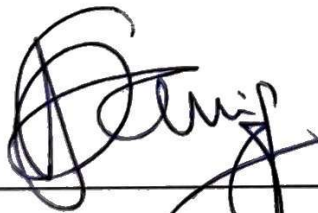
## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Mario Patiño A.  
DELEGADO POR EL  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE



Ing. Marco Pazmiño B.  
DIRECTOR DE TESIS



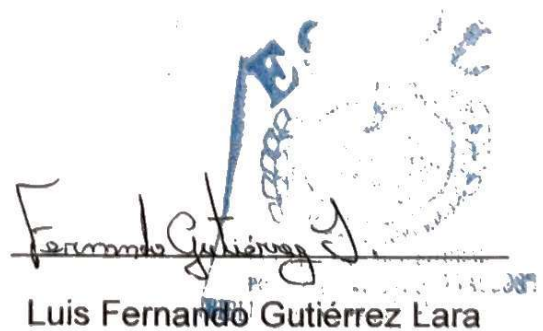
Dr. Alfredo Barriga R.  
VOCAL



## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Luis Fernando Gutiérrez Lara

## RESUMEN

Este trabajo pretende ser un aporte principal en el tema del control de la contaminación de los cauces de agua, a través de la medición del volumen de efluente industriales vertidos hacia los ríos, específicamente los efluentes que la Refinería Estatal de Esmeraldas (REE) descarga hacia el río Teaone. Se lo dividió en varias partes, que involucró el conocimiento previo de la planta industrial y sus procesos y luego los antecedentes que propiciaron la generación del proyecto.

La idea consiste en implementar a futuro, una estación de aforo continua en el canal abierto que conduce los efluentes tratados de REE, con el propósito de determinar en tiempo real el caudal que se esta vertiendo hacia el río, así como también llevar un registro acumulado de los mismos. Para esto se deberá diseñar una instalación hidráulica que se ajuste a las condiciones y necesidades del canal existente. Además se deberá seleccionar un equipo automático totalizador de caudales que facilite la toma de lectura.

Para cumplir este objetivo, se realiza la selección de una sección de control a lo largo del canal, se analizan alternativas de diseño de la estación de aforo, y se investiga acerca de los diferentes instrumentos para el aforo en canales que existen el mercado.

Finalmente se espera que este proyecto proporcione los parámetros técnicos necesarios para la posterior implementación de esta obra, así como también una estimación de los costos involucrados.



## ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1      Implantación de Estación de Aforo en el Canal Existente.





## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGÍA.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	VII
INDICE DE PLANOS.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
 CAPITULO 1	
1. LA REFINERÍA ESTATAL DE ESMERALDAS (REE).....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Operación de la Planta Industrial.....	8
1.3. Evacuación de Efluentes Líquidos de la REE.....	13
1.4. Necesidad de Medición de los Caudales de Efluentes. ....	14

## CAPITULO 2

2. ESTRUCTURAS PARA MEDIR CAUDALES EN CANALES ABIERTOS..	18
2.1. Características.....	19
2.2. Tipos de Estructuras.....	33

## CAPITULO 3

3. EQUIPO DE MEDICIÓN CONTINUA DE CAUDALES.....	68
3.1. Características y Especificaciones.....	68
3.2. Equipos Medidores de Flujo en Canales Abiertos.....	76

## CAPITULO 4

4. DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE AFORO.....	80
4.1. Selección de la Sección de Control.....	80
4.2. Cálculo y Dimensionamiento de la estructura.....	89
4.2.1. Especificaciones de Construcción.....	98
4.2.2. Posibles Problemas Técnicos y Mantenimiento.....	100

## CAPITULO 5

5. INSTALACION DEL EQUIPO.....	102
5.1. Forma de Instalación.....	103
5.2. Operación y Mantenimiento.....	105

## CAPITULO 6

6. ANÁLISIS DE COSTOS.....	107
6.1. Monto Estructural de la Obra.....	107

6.2. Estimación del equipo.....	109
6.3. Costo de Operación y Mantenimiento.....	110

## CAPITULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	111
--	-----

## APÉNDICES

## BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

bpd	Barriles por Día
CEE	Comunidad Económica Europea.
DINAPA.	Dirección Nacional de protección Ambiental
km <sup>2</sup>	Kilómetro Cuadrado.
LPG	Gas Licuado de Petróleo
l/s	Litro por Segundo.
m <sup>3</sup>	Metro Cúbico.
m <sup>3</sup> /s	Metro Cúbico por Segundo.
mm/h	Milímetro por Hora
Q <sub>max</sub>	Caudal Máximo.
Q <sub>min</sub>	Caudal Mínimo.
REE	Refinería Estatal de Esmeraldas.

## SIMBOLOGÍA

A	Área
h	Altura de Carga.
H	Energía del Fluido en Unidades de Longitud.
m	Pendiente de Solera.
Q	Caudal.
q	Caudal por Unidad de Longitud.
V	Velocidad Promedio de Flujo.
C	Coeficiente de Escorrentía.
C <sub>D</sub>	Coeficiente de Descarga.
i	Intensidad de Lluvia Promedio
$\gamma$	Gama de Caudales.
Y <sub>c</sub>	Profundidad Crítica.
Y	Nivel de Superficie
L	Longitud del Aforador
L <sub>b</sub>	Longitud de Sección de Control.
L <sub>a</sub>	Longitud de Sección de Rampa de Aproximación.
B	Ancho de Sección de Control.
p <sub>1</sub>	Altura de Sección de Control
g	Aceleración de la Gravedad.
F	Número de Fraude.

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 2.1. Relación Altura de Carga (m) – Caudal (m <sup>3</sup> /s).....	25
Figura 2.2. Terminología Aplicada al Transporte de Sedimentos.....	27
Figura 2.3. Vertederos RBC en Canales de Irrigación.....	37
Figura 2.4. Definición de Símbolos para un Vertedero de Cresta Ancha...	38
Figura 2.5. Corriente Libre y Corriente Sumergida Sobre un Vertedero de Pared Delgada.....	43
Figura 2.6. Vertedero con Contracción Final y vertedero sin Contracción.....	44
Figura 2.7. Definición Esquemática de un Vertedero de Pared Delgada.....	46
Figura 2.8. Los Vertederos con Pared Delgada Deben Tener el Extremo Agudo Aguas Arriba.....	49
Figura 2.9. Caja Vertedero Cipolletti.....	49
Figura 2.10. Canal de Aforo Parshall.....	56
Figura 2.11. Aforador Parshall en la Planta de Tratamiento de Efluentes de REE.....	59
Figura 2.12. Aforador sin Cuello.....	59
Figura 2.13. Diferentes Formas de Contraer la Sección de un Canal.....	64
Figura 2.14. Aforador de Garganta Larga en una Zanja.....	64
Figura 3.1. Limnógrafo con Flotador.....	69
Figura 3.2. Equipo con Registro Continuo de Nivel Analógico.....	72
Figura 3.3. Registrador Digital con Cinta de Papel Perforado.....	73
Figura 3.4. Unidad Programable a Batería Operando en una	

	Estación de Aforo.....	75
Figura 3.5.	Algunos Tipos de Transmisores de Nivel.....	76
Figura 3.6	Instalación de un Transmisor de Nivel Ultrasónico.....	76
Figura 3.7.	Sensor de Nivel con Transductor de Presión.....	77
Figura 3.8.	Totalizador Electrónico de Caudal.....	77
Figura 3.9.	Totalizador con Sensor Ultrasónico.....	78
Figura 3.10.	Equipo con Transductor de Presión.....	78
Figura 4.1.	Vista Panorámica de la REE.....	83
Figura 4.2.	Primer Tramo del Canal con Sección Trapezoidal.....	83
Figura 4.3.	Entrada a la Alcantarilla Subterránea.....	84
Figura 4.4.	Canal Excavado Exterior.....	84
Figura 4.5.	Construcción en Marcha de un Vertedero de Cresta Ancha Trapezoidal.....	100
Figura 5.1.	Estado del Nivel de Agua al Momento de la Calibración del Sensor de Nivel.....	104

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1	Capacidad de las Unidades de Proceso..... 11
Tabla 2	Productos de la REE.....12
Tabla3	Errores de Lectura.....32
Tabla4	Algunas Estructuras de Medición de Caudales.....35
Tabla 5	Características Geométricas de los Tramos del Canal.....85
Tabla 6	Costos de Construcción de la Estructura de Aforo.....108
Tabla 7	Costo de los Equipos Electrónicos.....109



## INTRODUCCIÓN

La Refinería Estatal de Esmeraldas (REE) es la planta industrial más grande del país, tiene como objetivo principal; procesar el crudo proveniente del oriente ecuatoriano y transformarlo hasta obtener los diferentes derivados de consumo nacional y para la exportación como son: gas licuado de petróleo, naftas, gasolinas, diesel, asfalto, fuel-oil, etc.

La industria de refinación del petróleo, emplea para cumplir su cometido procesos altamente tecnológicos y por consiguiente un consumo en grandes cantidades del recurso hídrico. Aunque las instalaciones de la REE permiten reutilizar una parte del agua, la mayor parte es descargada al Río Teaone, después de ser procesada en la unidad de tratamiento de efluentes.

Con el propósito de cumplir la normativa ambiental vigente, en la REE se monitorea constantemente los efectos que tiene la descarga de aguas residuales, se llevan a cabo análisis a diario de la composición química del efluente, y de la concentración de las sustancias contaminantes en los cuerpos hídricos circundantes y al interior de la planta industrial.

Para complementar el monitoreo de la composición química de los efluentes, y por ende controlar de una mejor manera los efectos que tiene el vertido de

éstos, se hace necesario determinar continuamente y llevar un registro acumulado del caudal de aguas residuales tratadas que descarga Refinería.

La presente investigación se ha desarrollado con el objetivo de aportar al conocimiento en tiempo real y acumulado del caudal de efluentes tratados vertidos, mediante el empleo de una estación de aforo. Para ello, a este trabajo se lo ha dividido en varios capítulos:

En el capítulo 1, se describe el accionar de la REE, incluyendo la forma en que se descargan las aguas residuales, y se recogen diversos criterios acerca de la necesidad de medición del caudal de efluentes tratados que son vertidos.

En el capítulo 2, En esta segunda parte se investiga teóricamente todos los tipos de estructuras de medición de caudales en canales abiertos. Esta parte del trabajo se la puede calificar como una Investigación de Calidad Comparativa entre diferentes aforadores.

En el capítulo 3, se realiza una investigación de las características y principios de operación de los diferentes equipos automáticos para la medición continua de caudales en canales abiertos que existen actualmente en el mercado.

En el capítulo 4, se analiza el trayecto y condiciones hidráulicas del canal abierto que conduce los efluentes tratados para seleccionar un punto que sirva como sección de control para levantar la estructura. Además después de realizar la selección definitiva de la estructura más conveniente, se procede a dimensionar la estación de aforo.

En el capítulo 5, se describe la funcionalidad del equipo automático que más se ajusta a las necesidades de monitoreo del caudal.

En el capítulo 6, se hace una estimación tanto del costo de la obra y equipo automático, como también del costo de operación y mantenimiento.

Finalmente en base a los resultados alcanzados en los capítulos anteriores, en el capítulo 7 se presentan las conclusiones del proyecto, así como también un grupo de recomendaciones dirigidas a la construcción del aforador diseñado en el presente trabajo investigativo.

# CAPÍTULO 1

## 1. LA REFINERÍA ESTATAL DE ESMERALDAS.

### 1.1 Antecedentes.

La Refinería Estatal de Esmeraldas (REE), se encuentra a 7 kilómetros de la ciudad en dirección suroeste, junto a la vía que conduce al cantón Atacames. Las instalaciones se encuentran a 300 metros del Río Teaone, a 3 kilómetros del Río Esmeraldas y a 3,8 kilómetros del Océano Pacífico en línea recta. El sitio se encuentra en una región tropical con un promedio anual de precipitación de 750 mm, el rango de temperatura promedio es de 16.5 °C a 36 °C.

La REE fue diseñada por la empresa norteamericana *Universal Oil Products (UOP)*, y construida por el consorcio japonés *Sumitomo Shoji Kaisha – Chiyoda Chemical Engineering & Construction* e inició su operación el 4 de mayo de 1977, procesando 55 600 barriles diarios de petróleo (bpd), operada totalmente por técnicos ecuatorianos. Más adelante con la demanda del sector productivo del país y para mejorar los ingresos económicos fue ampliada. Éste proceso se lo realizó en dos partes:

**Ampliación de 1987.\_** La Corporación Estatal Petrolera Ecuatoriana (CEPE), el 20 de mayo de 1985 suscribe el contrato con el consorcio *Sumitomo - Chiyoda*, (bajo diseño de la *UOP*), para la ampliación de la capacidad a 90 000 *barriles por día de operación (bpd)*. El 28 de Septiembre de 1987 se inauguró la Ampliación de la Refinería.

**Ampliación de 1995 – 1997.\_** En el año de 1995 se amplió la capacidad de la unidad existente de *Craqueamiento Catalítico Fluido (FCC)* de 16 000 bpd a 18 000 bpd, a cargo del consorcio Kellog-  
Bufete. Con el diseño de IFP / BEICIP / FRANLAB, y la construcción del consorcio *Técnicas Reunidas-Eurocontrol (TRE)*, se realiza la ampliación de procesamiento de crudo de 90 000 bpd a 110 000 bpd en el año de 1997.

### **Proceso de Refinación del Petróleo.**

La Refinación es el proceso de separar por destilación fraccionada los distintos componentes del petróleo: combustibles, aceites, asfaltos, etc., para facilitar su comercialización.

Para obtener productos de características precisas y utilizar de la manera más rentable posible las diversas fracciones presentes en el petróleo es necesario efectuar una serie de operaciones de

tratamiento y transformación que, en conjunto, constituyen el proceso de refino o refinación de petróleos crudos.

La operación fundamental es la destilación fraccionada continua, en la que el petróleo es calentado a 360°C e introducido en unas columnas de platillos, donde se separan los productos ligeros y los residuos. Esta operación sólo suministra productos en bruto, que deberán ser mejorados para su comercialización.

***Destilación Básica.*** La herramienta básica de refinado es la unidad de destilación. El petróleo crudo empieza a vaporizarse a una temperatura algo menor que la necesaria para hervir el agua. Los hidrocarburos con menor masa molecular son los que se vaporizan a temperaturas más bajas, y a medida que aumenta la temperatura se van evaporando las moléculas más grandes. El primer material destilado a partir del crudo es la fracción de gasolina, seguida por la nafta y finalmente el queroseno. Las zonas superiores del aparato de destilación proporcionaban lubricantes y aceites pesados, mientras que las zonas inferiores suministraban ceras y asfalto.

***Craqueo térmico.***\_El proceso de craqueo térmico, o pirolisis a presión, se desarrolló en un esfuerzo para aumentar el rendimiento de la destilación. En este proceso, las partes más pesadas del crudo se calientan a altas temperaturas bajo presión. Esto divide (craquea) las moléculas grandes de hidrocarburos en moléculas más pequeñas, lo que aumenta la cantidad de gasolina compuesta por este tipo de moléculas producida a partir de un barril de crudo.

***Alquilación y craqueo catalítico.***\_ En la alquilación, las moléculas pequeñas producidas por craqueo térmico se recombinan en presencia de un catalizador. Esto produce moléculas ramificadas en la zona de ebullición de la gasolina con mejores propiedades (por ejemplo, mayores índices de octano) como combustible de motores de alta potencia, como los empleados en los aviones comerciales actuales.

En el proceso de craqueo catalítico, el crudo se divide (craquea) en presencia de un catalizador finamente dividido. Esto permite la producción de muchos hidrocarburos diferentes que luego pueden recombinarse mediante alquilación, isomerización o reformación catalítica para fabricar productos químicos y combustibles de elevado octanaje para motores especializados.

## 1.2 Operación de la Planta Industrial

La REE procesa el crudo del Oriente Ecuatoriano, que tiene un rango de 23,9° API a 24,5° API (<sup>1</sup>). El crudo es almacenado en 6 tanques de techo flotante de 38 500 m<sup>3</sup> (250 000 barriles) de capacidad. La obtención de los diferentes derivados se realiza en las siguientes unidades de proceso:

***Unidades de Destilación Atmosférica (C).***\_ El petróleo es sometido a un proceso de desalado para eliminar sales básicamente de cloro y azufre; evitando la corrosión en las unidades de proceso y mejorando la calidad de los combustibles. Calentado en el horno a 350 °C, ingresa a dos torres de destilación atmosférica en donde se separan los derivados en base a los diferentes puntos de ebullición: gas combustible, *gas licuado de petróleo (LPG)*, gasolinas, kerosene o diesel 1, jet fuel, diesel 2. La capacidad total es de 110 000 bpd.

***Unidades de Destilación al Vacío (V y VL).***\_ Los fondos de las torres de destilación atmosférica o crudo reducido, previamente calentado ingresan a las torres de vacío, para obtener gasóleos, hidrocarburos más pesados que el diesel.

---

<sup>1</sup> A mayor gravedad API, mayor calidad del crudo y viceversa. Estándar del American Petroleum Institute (API).



El residuo de vacío tiene tres usos: carga a las reductoras de viscosidad; preparación de fuel oil ó bunker; y asfaltos. La capacidad de procesamiento es de 42 500 bpd.

***Unidades de Reducción de Viscosidad (TV y TV1).***\_ Dos unidades reductoras de viscosidad, que procesan 12 600 bpd, cada una permiten romper las moléculas de los fondos de vacío y obtener un producto cuatro veces más liviano, con lo que se reduce la cantidad de diesel necesario para preparar el fuel oil.

***Unidad de Reformación Catalítica con Regeneración Continua (CCR).***\_ Las gasolinas extraídas de las torres de destilación atmosférica tienen octanajes relativamente bajos, de 50 a 60 octanos. En ésta unidad de 2 780 bpd, los reactores mediante un catalizador, a base de Platino y Renio, modifican la estructura lineal y ramificada de las moléculas de las gasolinas, para obtener anillos bencénicos que incrementan su octanaje.

***Craqueamiento Catalítico Fluido (FCC).***\_ Las cadenas largas de gasóleos, sometidas a temperaturas de 520 °C, mediante un catalizador (<sup>2</sup>), se fraccionan dando como resultado gas licuado de petróleo o LPG, gasolina de alto octano y aceites cíclicos utilizados como diluyente del fuel oil. Las gasolinas de alto octano obtenidas en estos dos procesos, permiten que la REE entregue al País gasolinas libres de plomo, promoviendo la preservación de nuestro medio ambiente.

***Procesos Merox y Tratamiento de Jet Fuel.***\_ Las unidades Merox reducen el contenido de azufre y mejoran la calidad del LPG y las gasolinas. La Unidad de Tratamiento de Jet Fuel elimina totalmente el agua que puede contener este combustible, para satisfacer las normas de calidad.

***Tratamiento de gases, agua y Recuperación de Azufre.***\_ Los gases utilizados como combustible de la REE y las aguas industriales son tratados para eliminar compuestos de nitrógeno y azufre que contaminan esas corrientes.

---

<sup>2</sup> La acción principal del catalizador consiste en formar un complejo activado de menor energía con uno de los reactores.

TABLA 1

## CAPACIDAD DE LAS UNIDADES DE PROCESO.

UNIDAD	CAPAC. DISEÑO BPD
Destilación atmosférica	110.000
Destilación al vacío	45.300
Reductora de viscosidad	31.500
Reformación catalítica	2.780
Craqueamiento catalítico fluido(FCC)	18.000
Tratamiento de jet fuel	15.000
HDT de nafta	13.000
Reformación catalítica CCR	10.000
HDS para diesel premium	24.500
Merox LPG	5.522
Merox gasolina	12.080
Planta de azufre antigua	(T/d) 12.9
Planta de azufre nueva	(T/d) 50
Despojador agua amargas antigua	(T/d) 23.7
Despojador agua amargas nuevo	(T/d) 8

Los principales productos de la Refinería son: Gas licuado de Petróleo, gasolinas, diesel, jet fuel, fuel oil (<sup>3</sup>), asfaltos, azufre peletizado.

**TABLA 2**  
**PRODUCTOS DE LA REE**

<b>Producto</b>	<b>Producción</b>
LPG	5 522 bpd
Gasolinas	30 620 bpd
Kerosene (diesel1)	2 710 bpd
Jet Fuel	7 084 bpd
Diesel 2	18 406 bpd
Fuel Oil(3)	45 415 bpd
Asfalto	3 000 bpd
Azufre	62 ton/d

---

<sup>3</sup> El Fuel oil es el principal producto de exportación por el terminal marítimo.

### **1.3 Evacuación de Efluentes Líquidos de la REE.**

La industria de refinación de petróleo emplea una serie de procesos altamente tecnológicos, y por consiguiente un consumo del recurso hídrico en grandes cantidades. Las instalaciones de la Refinería Estatal de Esmeraldas permiten reutilizar el agua pero hay una fracción que se descarga como efluente líquido. Previa a esta descarga el agua se procesa en la planta de tratamiento de efluentes, y luego es descargada en el río Teaone, para lo cual deben cumplir las exigencias ambientales expedidas por el Ministerio de Energía y Minas a través de la DINAPA.

La última etapa del tratamiento por la que pasan las aguas residuales, antes de ser descargadas, es la piscina de estabilización. A partir de aquí mediante una válvula manual se controla el vertido del efluente hacia el canal que lo conduce finalmente al río Teaone.

#### **1.4 Necesidad de Medición de los Caudales de Efluentes**

El aire, el agua y el suelo son elementos indispensables para la vida, y por tanto su utilización debe estar sujeta a normas que eviten el deterioro de su calidad por abuso o uso indebido de los mismos, de tal modo que se conserve su pureza dentro de límites, que no perturben el normal desarrollo de los seres vivos sobre la tierra, ni atenten contra el patrimonio natural y artístico de la Humanidad, al que tenemos el deber de proteger y preservar para las generaciones futuras. Esta labor no debe hacerse de manera incompatible con el desarrollo industrial ni con los criterios de confortabilidad admitidos por la sociedad en la que vivimos. Todos tenemos el deber de trabajar para lograr un mundo limpio y habitable, sustento de una mejor calidad de vida.

La contaminación, entendida como degradación del medio ambiente, es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan a nuestro planeta, y surge cuando, por presencia cuantitativa o cualitativa de materia o energía, se produce un desequilibrio ambiental.

La contaminación también puede definirse como la adición de cualquier sustancia al medio ambiente (aire, agua, suelo), en

cantidades tales, que causa efectos adversos en los seres humanos, animales, vegetales o materiales que se encuentran expuestos a dosis (concentraciones por tiempo) superiores a los niveles que se encuentran habitualmente en la naturaleza.

Durante los últimos siglos, el hombre ha agregado al ambiente una gran cantidad de productos químicos y físicos, como consecuencia de su dominio sobre los recursos naturales (de la explotación intensiva), especialmente los energéticos, debido fundamentalmente al desarrollo de tecnologías para suplir y aumentar sus necesidades, la industrialización y el proceso de urbanización de grandes áreas del territorio. Estos fenómenos incontrolados han llegado a amenazar la capacidad asimiladora y regeneradora de la naturaleza y de no ser adecuadamente planificados pueden llevar a una perturbación irreversible del equilibrio ecológico general de consecuencias imprevisibles.

La Refinería Estatal de Esmeraldas, tratando de seguir una política ambiental que garantice una mejor calidad de vida para sus trabajadores y los habitantes de la ciudad de Esmeraldas, y conforme a lo estipulado en la reglamentación ambiental vigente, comienza a dar prioridad a este aspecto de crucial importancia para el

mantenimiento de unas buenas relaciones entre la estatal petrolera y los habitantes de la ciudad.

Para dar cumplimiento a su política ambiental la REE en el 2001 realiza una Auditoria Ambiental a cargo de la Unidad de Protección Ambiental y Seguridad Industrial.

En el año 2002 en el seno del Consejo de Administración de Petroecuador se da a conocer el “Programa de Cumplimiento de Recomendaciones de la Auditoria Ambiental a la REE”, documento elaborado y presentado por Petroindustrial. Con el propósito de alcanzar el cumplimiento cabal de las recomendaciones, este consejo dispone el cumplimiento obligatorio e inmediato de las recomendaciones.

Las recomendaciones de la Auditoria Ambiental abarcan una serie de medidas encaminadas a controlar los efectos de los efluentes industriales sobre la atmósfera, cuerpos hídricos circundantes, suelo y aguas subterráneas, APÉNDICE A. Una de estas recomendaciones, tiene como objetivo determinar el caudal de los efluentes que la Refinería vierte hacia el Río Teaone. El cumplimiento de este objetivo permitirá monitorear la dinámica depuradora del río, especialmente



durante su periodo de estiaje que es cuando la situación se vuelve crítica.

Para alcanzar el objetivo mencionado en el párrafo anterior; se ha propuesto la construcción de una estructura de aforo en el canal abierto que conduce los efluentes tratados de la REE. De esta manera nace el presente trabajo; en donde se realiza una investigación comparativa entre los diferentes tipos de aforadores que permita llegar a la selección y diseño del más apto para las condiciones existentes en el canal. Además se presenta una guía para la operación, inspección, y mantenimiento de la estación de aforo.

## CAPÍTULO 2

### **2. ESTRUCTURAS PARA MEDIR CAUDALES EN CANALES ABIERTOS.**

Las razones por las cuales se desea medir el agua en movimiento en un canal generalmente están ligadas a las actividades de riego, al margen de aquellas que se efectúan con fines específicos como corresponde al caso de la presente investigación, en donde el motivo fundamental es controlar el vertido de efluentes industriales que realiza un usuario a un cauce de agua superficial. Esta aplicación tiene cada día mayor vigencia en muchos países, como por ejemplo los de la CEE, que se han visto obligados a reformar su legislación ambiental para incluir artículos en donde se obliga a las industrias a instalar canales con totalizadores en todos los puntos de vertido. En el APÉNDICE B se ha tomado como ejemplo, por estar en nuestro idioma, una reforma a la normativa ambiental de una de las comunidades autónomas españolas.

Otros motivos por los que se desea conocer el caudal de una corriente, son la experimentación en el laboratorio, la determinación de las fuentes de abastecimiento naturales como pozos y manantiales; para todos estos casos se aplica la teoría de la hidráulica de medición en canales abiertos.

Las estructuras de aforo, constituyen una de las múltiples formas de determinar el caudal de una corriente, sea esta natural o artificial. Existen otros métodos que emplean: orificios sumergidos, molinetes, flotadores, trazadores y medidores de velocidad ultrasónicos (APÉNDICE C), además existe el método directo que solo emplea un recipiente y un cronómetro.

## **2.1 Características.**

En algunos casos constituye una ventaja emplazar una estructura en un canal abierto para medir el caudal, en otros casos es posible emplear estructuras construidas con otros propósitos para lograr este objetivo. Entre las estructuras cuya función primaria es la de medir el caudal están los vertederos y los aforadores a régimen crítico. Las estructuras cuya función primaria difiere a la medición del caudal, pero que pueden ser utilizadas para estimar la descarga, son: presas, puentes y alcantarillas.

En general, las dimensiones de las estructuras cuya función primaria es la de medir el caudal están estandarizadas; pero los materiales de los cuales estas son construidas son muy variados. El criterio para escoger el material de construcción depende de entre algunos factores

de la disponibilidad, costo, vida útil de la estructura y prefabricación. Aunque el costo de construcción y mantenimiento de la estructura es importante, lo primordial son la facilidad y precisión con que el caudal puede ser medido.

### **Conceptos Relativos a la Medición de Caudales.\_**

Para un mejor entendimiento del tema, se exponen a continuación algunos conceptos y términos utilizados a lo largo del trabajo, como son los conceptos relacionados a la medición de caudales:

***Tipos de flujo:*** El flujo es clasificado en flujo en *canales abiertos* y en *flujo en conductos cerrados*. La condición de flujo en *canal abierto* ocurre cuando este tiene una superficie libre que esta abierta a la atmósfera. La presencia de la superficie libre de agua previene la transmisión de presión desde un extremo hacia otro del canal, como si ocurre en el caso de una tubería. Así, en un canal abierto, la única fuerza que puede provocar el flujo es la fuerza gravitacional.

En hidráulica, una *tubería* es un conducto cerrado por donde circula el fluido bajo presión. Si el flujo esta ocurriendo en un conducto cerrado, pero no esta completamente lleno, entonces el flujo no es considerado dentro de una tubería, sino que es clasificado como flujo en un canal abierto.

***Tipos de flujo en canales abiertos:*** El flujo en canales abiertos puede clasificarse en muchos tipos y describirse de varias maneras. La siguiente clasificación se hace de acuerdo con el cambio en la profundidad del flujo con respecto al tiempo y al espacio.

***Flujo permanente y flujo no permanente: tiempo como criterio.*** Se dice que el flujo en un canal abierto es *permanente* si la profundidad de flujo no cambia o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración. El flujo es *no permanente* si la profundidad cambia con el tiempo.

***Flujo uniforme y flujo variado: espacio como criterio.*** Se dice que el flujo en los canales abiertos es *uniforme* si la profundidad de flujo es la misma en cada sección del canal. Un flujo uniforme puede ser permanente o no permanente, según cambie o no la profundidad con respecto al tiempo. El flujo es variado si la profundidad de flujo cambia a lo largo del canal.

***Estado de flujo:*** El estado o comportamiento de flujo en canales abiertos está gobernado básicamente por los efectos de viscosidad y gravedad en relación con las fuerzas inerciales del flujo. La tensión superficial del agua puede afectar el comportamiento del flujo bajo ciertas circunstancias, pero no juega un papel significativo en la mayor parte de los problemas de canales abiertos que se presentan en ingeniería.

**Efecto de viscosidad:** El flujo puede ser laminar, turbulento o transicional según el efecto de la viscosidad en relación a la inercia. Como el flujo en la mayor parte de los canales es turbulento, el modelo empleado para simular un canal prototipo debe ser diseñado de tal manera que el número de *Reynolds* del flujo en el canal modelo este en el rango turbulento.

**Efecto de la gravedad:** El efecto de la gravedad sobre el estado de flujo se representa por la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitacionales. Esta relación esta dada por el *número de Froude*, definido como:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g h_m}} \quad (2.1)$$

donde  $V$  es la velocidad media del flujo,  $g$  es la aceleración de la gravedad y  $h_m$  es la profundidad media hidráulica, la cual está definida como el área de la sección transversal del agua perpendicular a la dirección del flujo en el canal dividida por el ancho de la superficie libre. Para canales rectangulares ésta es igual a profundidad de la sección de flujo.

Cuando  $F$  es igual a la unidad, la ecuación (2.1) se convierte en:

$$V = \sqrt{g h_m} \quad (2.2)$$

y se dice que el flujo esta en un estado *crítico*. Si  $F < 1$ , el flujo es *subcrítico*. En este estado el papel jugado por las fuerzas gravitacionales es más pronunciado; por tanto, el flujo tiene una velocidad baja y a menudo se lo describe como tranquilo y de corriente lenta. Si  $F > 1$ , el flujo es *supercrítico*. En este estado las fuerzas inerciales se vuelven dominantes; el flujo tiene una alta velocidad y se describe usualmente como rápido, ultrarrápido y torrencial.

En la mecánica de las ondas de agua, la velocidad crítica  $\sqrt{g h_m}$  es igual a la *celeridad* de pequeñas ondas gravitacionales que pueden ocurrir en aguas poco profundas en canales como resultado de cualquier cambio momentáneo en la profundidad local del agua. Un cambio de este tipo puede ser causado por perturbaciones u obstáculos en el canal, que causan un desplazamiento del agua por encima y por debajo del nivel medio de la superficie y, por consiguiente, crean ondas que ejercen peso o fuerza gravitacional. Debe anotarse que una onda gravitacional puede propagarse hacia aguas arriba en un canal con flujo *subcrítico* pero no puede hacerlo en un canal con flujo *supercrítico*, debido a que la celeridad es mayor que la velocidad de flujo en el primer caso y menor en el segundo. Por consiguiente, la posibilidad o imposibilidad de que una onda gravitacional se propague hacia aguas arriba puede usarse como un

criterio para diferenciar entre los flujos *subcríticos* y *supercríticos*. En el estado crítico de flujo puede establecerse una relación definitiva nivel-caudal. Esta relación es teóricamente independiente de la rugosidad del caudal y de otras circunstancias no controladas. Por consiguiente, una sección de flujo crítico es una sección de control.

### ***El flujo crítico y sus aplicaciones:***

*Control de flujo.*\_ El control de flujo en un canal abierto se define de muchas maneras. Tal como se utiliza aquí, el término significa el establecimiento de una condición definitiva de flujo en un canal, o más específicamente, una relación definitiva entre el nivel y el caudal de flujo. Cuando el control de flujo se alcanza en una cierta sección de canal, esta sección es una sección de control. La sección de control regula el flujo de modo que restringe la transmisión de efectos de cambios en la condición del flujo, ya sea en una dirección hacia aguas arriba o hacia aguas abajo. Como la sección de control mantiene una relación nivel-caudal definitiva, siempre es un lugar adecuado para una estación de aforo y para el desarrollo de una *curva de calibración de caudales*, la cual es una curva que representa la relación altura de carga versus caudal, en la estación de aforo. FIGURA 2.1



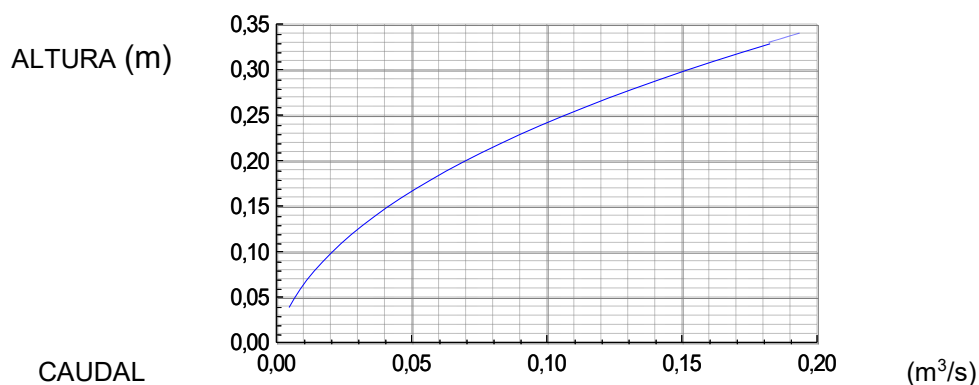


FIGURA 2.1. RELACIÓN ALTURA DE CARGA – CAUDAL (m³/s)

*Medición de caudales.*\_ Con base en el principio del flujo crítico, se han desarrollado varias estructuras para la medición de caudales. En tales estructuras, a menudo la profundidad crítica se crea mediante la construcción de una pequeña elevación en el fondo del canal, tal como un vertedero, o mediante una contracción en la sección transversal, tal como en un aforador de flujo crítico. La experiencia ha demostrado que el método más adecuado para cada caso depende de tres factores importantes:

- La magnitud del caudal,
- La precisión buscada,
- Las condiciones que impone el medio.

**Aptitud:** Se define como: la cualidad que hace que un objeto sea apto, adecuado o acomodado para cierto fin. Apto se define como idóneo, hábil para hacer alguna cosa. Sin embargo desde el punto de vista ingenieril dentro de un marco de la hidráulica aptitud es la capacidad de manejar, usar, mantener y además servir para propósitos bien definidos.

**Flujo libre (Flujo modular):** Se dice flujo modular cuando el flujo es libre, es decir cuando el flujo no está influenciado por el nivel aguas abajo si la sección de control se encuentra aguas arriba.

**Gama de caudales:** El caudal en un canal abierto suele variar con el tiempo. Los límites entre  $Q_{MAX}$  y  $Q_{MIN}$ , entre los que puede medirse el caudal, dependen de la naturaleza del canal en el que se instala la obra de aforo. Los canales de riego, por ejemplo, necesitan un margen de oscilación considerablemente menor que los cauces naturales. La amplitud de la gama de variación de los caudales previsibles viene definida por la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{Q_{MAX}}{Q_{MIN}} \quad (2.3)$$

**Capacidad de eliminación de sedimentos:** Casi todos los canales abiertos, además de agua, transportan sedimentos que, ordinariamente, reciben denominaciones diversas, según la forma o

proceso de transporte o según sea su origen. Estos nombres aparecen ilustrados en la FIGURA 2.2:

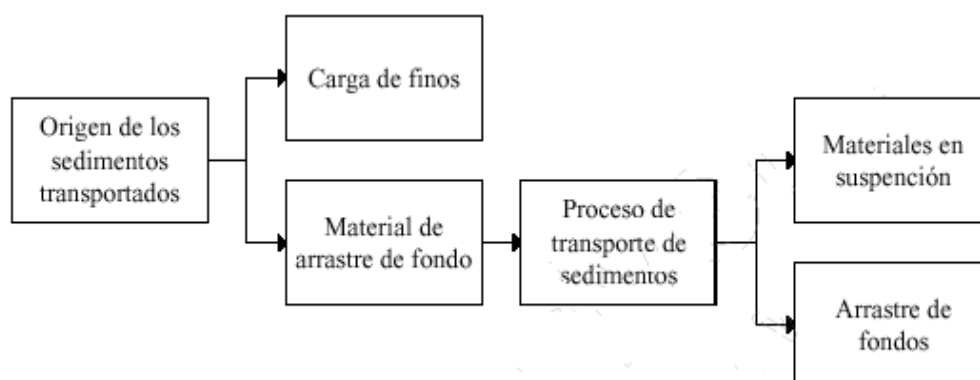


FIGURA 2.2. TERMINOLOGÍA APLICADA AL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Para evitar las sedimentaciones entre la sección de medida de la altura de agua y la sección de control, la capacidad de evacuación de sedimentos del aforador debe ser mayor que la capacidad de transporte del tramo de canal de aguas arriba.

**Calculo de crecientes en cuencas pequeñas.** Los métodos más conocidos para cálculo de crecientes son los siguientes:

**Análisis de frecuencias de caudales máximos registrados:** La aplicación del método requiere de una buena serie histórica diaria de caudales máximos instantáneos. El análisis de frecuencias de

caudales máximos se utiliza en diseños de puentes pequeños, pontones, aforadores y alcantarillas.

***Aplicación de relaciones lluvia-cuenca-caudal:*** Los métodos que se basan en la interrelación lluvia-cuenca-caudal se pueden aplicar en todos los casos. Para su correcta utilización se necesita suficiente información cartográfica, hidrometeorológica, geológica y geográfica de la región donde se localiza la cuenca en estudio.

Entre los métodos que utilizan relaciones lluvia-cuenca-caudal esta el método racional:

***Método racional:*** El Método Racional se aplica en cuencas homogéneas pequeñas, menores de 10 hectáreas, principalmente para drenajes de carreteras, patios, áreas rurales, etc.

Se representa con la siguiente expresión:

$$Q = C i A / 3.6 \quad (2.4)$$

donde "Q" es el caudal pico de la esorrentía que se genera a la salida de una cuenca de área "A" por efecto de un aguacero de intensidad constante "i". "C" es el coeficiente de esorrentía; su valor está comprendido entre cero y uno, y depende de la morfometría de la cuenca y de su cobertura.

La fórmula es dimensional, de manera que las unidades deben utilizarse correctamente. Cuando el caudal se quiere obtener en  $\text{m}^3/\text{s}$ , la intensidad debe estar en  $\text{mm}/\text{h}$  y el área en  $\text{km}^2$

Las principales dificultades que se encuentran para el uso correcto de la fórmula son dos: La asignación de valores apropiados al coeficiente de escorrentía y la determinación de la intensidad del aguacero.

La selección del coeficiente de escorrentía es subjetiva porque, aun cuando existen tablas y recomendaciones generales, el criterio de ingeniero es definitivo. Por su parte, la intensidad del aguacero se deduce de análisis de intensidad, duración y frecuencia.

La aplicación del Método Racional induce a sobreestimar los caudales de creciente. Por esta razón no se recomienda su uso en cuencas mayores de  $1 \text{ km}^2$ .



**Exactitud necesaria en las medidas:** La exactitud con la que es posible aforar un caudal mediante una instalación dada está limitada por la precisión con la que se pueda efectuar una medida. Si se construyen dos obras de mediciones idénticas e independientes y se hace pasar por ellas dos corrientes que tengan exactamente la misma altura de carga con respecto al nivel de sus resaltos, lo normal es que los dos caudales medidos sean diferentes.

**Errores sistemáticos:** Si, por ejemplo, la regla de medición de  $h_1$  está colocada demasiado bajo, todos los valores medidos de  $h_1$  serán, sistemáticamente, mayores que los verdaderos, en tanto no se verifique la posición del cero y se corrija la altura de la escala. Cualquier error sistemático puede corregirse, si se llega a conocer.

**Errores aleatorios:** Si dos personas leen el valor de  $h_1$  en un limnómetro o en un gráfico del registrador, con frecuencia leerán valores diferentes, e incluso una tercera persona podría leer otro valor distinto. Algunos de estos valores leídos son superiores y otros inferiores al verdadero de  $h_1$ . Dicho de otro modo, los valores leídos se distribuyen al azar en torno al verdadero valor de  $h_1$ .

**Errores por equivocación:** Errores como estos invalidan la medida del caudal y se deben a equivocaciones humanas, a defectos de funcionamiento de los limnógrafos automáticos o a obstrucciones del curso normal del agua.

Los errores de medición de la altura de carga aguas arriba pueden provenir de múltiples causas. Algunas de las más frecuentes son las siguientes:

**Colocación del cero:** además del error sistemático citado anteriormente, en la colocación del cero de la regla, una cimentación inestable de toda la obra, o simplemente del dispositivo de medida,

puede ser la causa de otro error, por desplazamiento de la posición del cero. Si el terreno donde se construirá la obra de aforo, está sujeto a heladas o se mueve con la humedad del suelo, podría modificar la posición del cero. Para reducir los efectos de tales alteraciones, se recomienda comprobar su posición, al menos, dos veces al año, por ejemplo, después de una época de grandes heladas, o después de la estación de las lluvias, y antes de la temporada de riego. También puede alterar la posición del cero la presencia de una capa de hielo sobre el agua.

***Crecimiento de algas:*** Una fuente importante de errores sistemáticos en la determinación de la altura de carga es la proliferación de algas sobre el fondo y sobre las paredes de la sección de control. La cubierta de algas produce dos efectos: (1) el nivel de referencia del resalto queda elevado por el espesor de la vegetación y origina un error en la altura de carga, y (2) la capa de algas que recubre las paredes de la sección de control reduce la superficie mojada. Para eliminar el error debido a las algas adheridas a la superficie de la sección de control, deberá limpiarse periódicamente la sección de control con un cepillo o escobón. Puede reducirse el desarrollo de las algas pintando la obra con algún producto alguicida marino.

***Error en la lectura de la altura de carga:*** En el error de lectura de la escala de la regla, básicamente influyen la distancia entre ésta escala

y el observador, el ángulo en el cual se realiza la lectura, la turbulencia del agua y el tamaño de las divisiones de dicha regla. Una escala sucia dificulta la lectura y puede ser causa de errores importantes, por lo que las regletas deben instalarse en lugares en los que resulte fácil su limpieza por el observador. El orden aproximado de magnitud de los errores de lectura en una regleta limnimétrica, con graduación en centímetros, es el que aparece en la TABLA 3.

**TABLA 3**  
**ERRORES DE LECTURA**

<b>Escala colocada en</b>	<b>Error Sistemático</b>	<b>Error Aleatorio</b>
Agua quieta	0	0.003 m
Canal con lámina de agua tranquila	0.005 m	0.005 m
Canal con lámina de agua turbulenta	Mayor que una unidad de graduación >0.01 m	Mayor que una unidad de graduación >0.01 m



**Errores relacionados con la construcción:** Las dimensiones de la construcción de las obras de aforo deben ser lo más ajustadas posibles a las que se dan en los diseños. Cualquier variación de estas dimensiones influirá sobre el error entre el verdadero caudal y el que se señala en el diseño.

## 2.2 Tipos de Estructuras.

Una obra de medición es una estructura hidráulica fija introducida en el cauce de un canal. La función de la estructura hidráulica es producir un flujo modular, que es caracterizado por una relación conocida entre la medida de nivel de agua ( $H$ ) y el caudal ( $Q$ ). El cambio del nivel es medido por un dispositivo secundario que puede convertir automáticamente el nivel de agua en caudal; este tipo de equipos se analizan en el siguiente capítulo de este trabajo.

En general las estructuras a través de la corriente que cambian el nivel de aguas arriba se denominan *vertederos* y las estructuras de tipo canal se denominan aforadores, aunque esta distinción no siempre se cumple. Una distinción más importante es entre estructuras *estándar* y *no estándar*.

Un vertedero o aforador estándar es el que se construye e instala siguiendo especificaciones uniformes y cuando el caudal puede obtenerse directamente de la profundidad de la corriente mediante el empleo de diagramas o tablas de aforo, es decir, cuando el aforador ha sido previamente calibrado. Un vertedero o aforador no estándar es el que necesita ser calibrado individualmente después de la instalación.

El flujo en estructuras de medición de caudales puede ser:

Por desbordamiento:

- Vertederos de pared delgada. (Rectangular, triangular, Cipolletti).
- Vertederos de pared ancha. (Aforadores RBC).
- Por compuertas de fondo. (orificios).

Por contracción:

- Medidores a régimen crítico (Aforador Parshall, aforador sin cuello, aforador en H, aforador de garganta larga)

La ecuación de descarga para estas estructuras pueden ser expresadas como:

$$Q = C_d d H^u \quad (2.5)$$

Donde:

$C_d$  = Coeficiente de descarga

$d$  = Coeficiente que depende del tipo de estructura

$H$  = Nivel de agua en la sección aguas arriba.

$u$  = exponente que depende del tipo de estructura.

Los valores de “ $u$ ” se muestran en la siguiente tabla, junto con los caudales máximos en función al tipo de estructura.

**TABLA 4**

**ALGUNAS ESTRUCTURAS DE MEDICIÓN DE CAUDALES**

<b>Estructura</b>	<b>Exponente <math>u</math></b>	<b>Min. Perdida de carga</b>	<b>Rango de caudales</b>
Vertedero de cresta ancha	3/2	>0.3 H	$q < 5 \text{ (m}^2/\text{s)}$
Romijn	3/3	>0.3 H	$Q = 0.9 \text{ (m}^3/\text{s)}$
Cipolletti	3/4	>1.0 H	$q < 0.8 \text{ (m}^2/\text{s)}$
Parshall	1/6	>1.0 H	$Q < 90 \text{ (m}^3/\text{s)}$

Las estructuras más importantes de medición de caudales son:

a) Estructuras con vertederos de pared ancha.

- Aforadores RBC.

b) Estructuras con vertederos de pared delgada.

- Rectangular,
- Triangular ángulo de 20 a 100°,
- Trapezoidal (Cipoletti),
- Parabólico,
- Circular,
- Compuesto,
- Proporcional o Sutro.

c) Estructuras a régimen crítico.

- Aforadores Parshall,
- Aforadores sin cuello,
- Aforadores de garganta larga,
- Aforador en H.

### **a) Vertederos de Pared Ancha (RBC).**

Llamado también vertedero RBC por las iniciales de los autores de este aforador (Replogle, Bos y Clemmens), es una estructura de medición de caudales para puntos donde la pérdida de energía es limitada. Un vertedero de cresta ancha posee una estrecha relación entre el nivel aguas arriba y el caudal. La longitud de la cresta del vertedero en la dirección del flujo es tan larga que permite que las líneas de corriente sobre la cresta sean rectas y paralelas.

La cara aguas arriba influye a la relación altura ( $H$ ) – caudal ( $Q$ ). La cara posterior puede ser vertical o puede tener una cierta pendiente. A causa de la inclinación de la rampa en el tramo de convergencia, parte de la energía cinética, es transformada en energía potencial en la sección aguas abajo. La transición aguas arriba conduce el flujo a la sección de control sin separación ni contracción del flujo.



FIGURA 2.3 VERTEDEROS RBC EN CANALES DE IRRIGACION

Un vertedero de pared ancha es por definición una estructura con una cresta horizontal sobre la cual la presión del fluido puede ser considerada hidrostática. Si esta situación existe, entonces la siguiente inecuación debería ser cumplida<sup>4</sup>.

$$0.08 \leq H_1 / L \leq 0.50 \quad (2.6)$$

Si  $H_1 / L$  no es mayor o igual a 0.08, entonces la energía perdida sobre la cresta del vertedero no puede ser descuidada.

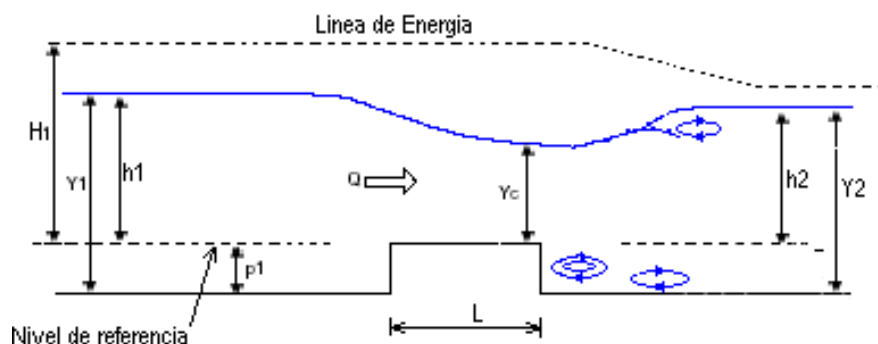


FIGURA 2.4 DEFINICIÓN DE SÍMBOLOS PARA UN VERTEDERO DE CRESTA ANCHA

Desde el punto de vista de facilidad de construcción, el vertedero de cresta ancha es el dispositivo de medición más simple. En su forma más simple, ambas caras del vertedero corriente arriba y corriente

<sup>4</sup> French, Open Channel Hydraulics

abajo son lisas y planas verticales. El cuerpo del vertedero debe ser emplazado en un canal perpendicularmente a la dirección del flujo, y un cuidado especial debe ejercerse para asegurar que la superficie de la cresta y el filo hagan una intersección a 90° con la cara de corriente arriba del vertedero. La FIGURA 2.4 muestra esquemáticamente este tipo de vertedero con sus dimensiones típicas.

**Vertedero de cresta ancha rectangular.**\_ La ecuación de descarga para un vertedero de cresta ancha de sección rectangular es:

$$Q = C_D \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g} B H_1^{3/2} \quad (2.7)$$

Donde:

$C_D$  = Coeficiente de descarga

$Q$  = caudal en (m<sup>3</sup>/s).

$H_1$  = Energía aguas arriba en (m)

$B$  = Ancho de la cresta del vertedero en (m)

**Vertedero de Cresta Ancha Triangular.**\_ En una corriente natural y canales de irrigación donde un amplio rango de descargas debe ser determinado. El vertedero triangular tiene un número de ventajas por

las cuales puede ser recomendado su uso. Primero, para un gran caudal esta provisto de una parte ancha para que el efecto sobre el remanso no sea excesivo. Segundo, para un flujo pequeño, el ancho es reducido para que la sensibilidad del vertedero sea aceptable.

**Otros Tipos.**\_En este punto deben mencionarse que no hay suficiente información publicada acerca de los coeficientes de descarga para los vertederos de cresta ancha parabólico y trapezoidal.

**Limitaciones.**\_ Las siguientes limitaciones respecto al uso de estos vertederos deberán ser tenidas en cuenta:

- El flujo debe ser modular (libre) para una medida más exacta.
- La utilización de vertederos de profundidad crítica no es recomendable bajo condiciones de flujo no modular.
- Si el aforador no es construido con las dimensiones exactas, entonces será necesario una calibración.

**Criterios de construcción.**\_ La construcción de un vertedero de resalto como los de la FIGURA 2.3 es sencilla. Este tipo de vertedero de pared gruesa necesita únicamente que la superficie de su umbral se construya con cuidado. Las demás superficies pueden



dimensionarse y determinarse con una aproximación de alrededor del  $\pm 10\%$  sin que afecte la calibración más allá del 1%. A pesar de la existencia de los sedimentos que fluyen por la solera del canal, estos se esparcen por la rampa y pasan la coronación sin causar problemas importantes.

**Bordo libre del canal.\_** Se recomienda que el bordo libre del canal sea, al menos, el 20% de  $y_{1max}$ , ya que las velocidades de la corriente en los canales de riego en los que pueden instalarse estos vertederos de resalto varían en un intervalo relativamente estrecho.

**Control de errores.\_** El control de errores se puede llevar a cabo de las siguientes formas:

- a) La coronación del vertedero es lo suficientemente ancha para que puedan absorberse fácilmente los errores inherentes a las construcciones de hormigón en la anchura de la sección de control, por lo que los canales de hormigón existentes pueden utilizarse para la mayor parte de los dispositivos de medida.
- b) La longitud de la coronación del vertedero, en la dirección de la corriente, y la pendiente de la rampa de aproximación dan lugar a un tipo de flujo que puede ser ajustado a modelos matemáticamente

exactos ( $\pm 2\%$ ) y resuelto mediante las técnicas informáticas, para casi cualquier forma de sección transversal del canal.

c) La colocación exacta de la escala limnimétrica vertical situada aguas arriba del vertedero, son las operaciones de campo más críticas y cuidadosas.

### **b) Vertederos de Pared Delgada.**

Si la longitud de la cresta del vertedero en la dirección del flujo es tal que  $H_1/L > 15$  Figura. 2.4, entonces el vertedero es denominado de cresta delgada. Un vertedero de pared delgada es una escotadura en el cual el ancho de la cresta en el sentido longitudinal del flujo, es suficientemente pequeño para no influir en el desarrollo del flujo sobre el vertedero. Este vertedero esta formado por una pared delgada con una escotadura de dimensiones determinadas en la parte superior colocada transversalmente al canal, de manera que toda la corriente es obligada a pasar por dicha escotadura.

El fondo de la escotadura se denomina cresta. La diferencia de elevación entre la cresta y la superficie del agua en un punto situado aguas arriba del vertedero a una distancia determinada se denomina

altura de vertido. El depósito de agua que se forma aguas arriba del vertedero se denomina remanso de vertedero.

Cuando la superficie del agua, aguas abajo del vertedero, está por debajo de la cresta de forma que se produce una cámara de aire debajo de la lámina que vierte, entonces el flujo es libre; si ocurre lo contrario, entonces el flujo es sumergido. FIGURA 2.8



FIGURA 2.5 CORRIENTE LIBRE Y CORRIENTE SUMERGIDA SOBRE UN VERTEDERO DE PARED DELGADA

Cuando el ancho y la profundidad del canal son lo suficientemente grandes respecto al tamaño de la escotadura, haciendo que la velocidad de aproximación sea muy pequeña, en este caso el vertedero es de contracción completa. FIGURA 2.9

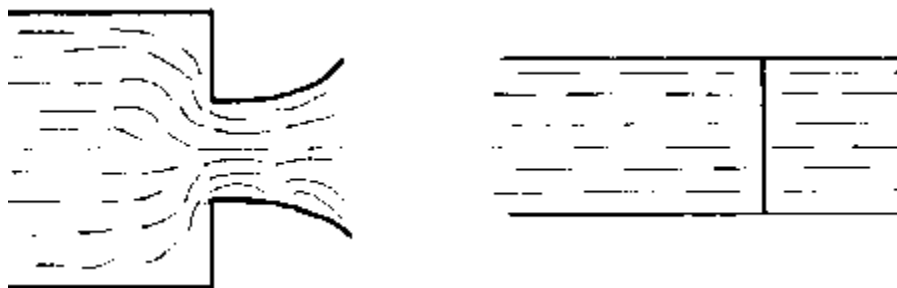


FIGURA 2.6 VERTEDERO CON CONTRACCIÓN FINAL Y VERTEDERO SIN CONTRACCIÓN

En la práctica, el ancho de pared de estos vertederos es usualmente menor a 2 mm, tal que incluso en un nivel mínimo de operación el flujo salta limpio corriente abajo del cuerpo del vertedero. En este caso, una bolsa de aire es formada debajo de la napa, FIGURA 2.10, de la cual el aire es continuamente removido por el chorro desbordado. En la práctica, es necesario diseñar el vertedero de tal manera que la presión en esta bolsa de aire sea mantenida constante o el vertedero tendrá los siguientes problemas.

Como la presión del aire en la bolsa decrece, la curvatura del chorro desbordado se incrementa, y el valor del coeficiente de descarga también se incrementará.

Si el suministro de aire en la bolsa es irregular, entonces el chorro vibrará y el flujo sobre el vertedero será inestable. Si la frecuencia del irregular suministro de aire a la bolsa, el chorro desbordante y la estructura del vertedero son aproximadamente iguales, entonces la vibración del chorro puede resultar en una falla de la estructura.

El máximo flujo de aire que se requiere suministrar para que haya una aeración completa por unidad de ancho de cresta de vertedero está dada por<sup>5</sup>

$$q(\text{aire}) = 0.1 \left[ \frac{q}{(y_p / h_1)^{3/2}} \right] \quad (2.8)$$

Donde:  $q(\text{aire})$  = flujo de aire requerido por unidad de ancho del vertedero.

$h_1$  = carga o cabezal del vertedero.

$q$  = flujo por unidad de ancho del vertedero.

$y_p$  = profundidad del agua en la piscina bajo la napa.

---

<sup>5</sup> Bos, Replogle and Clemmens, Flow Measuring Flumes for Open Channel Systems

Si un salto libre hidráulico es formado corriente abajo del vertedero, entonces

$$y_p = \Delta Z \left[ \frac{q^2}{g \Delta Z^2} \right]^{0.22} \quad (2.9)$$

Si un salto sumergido existe corriente abajo del vertedero, entonces

$$y_p = y_2.$$

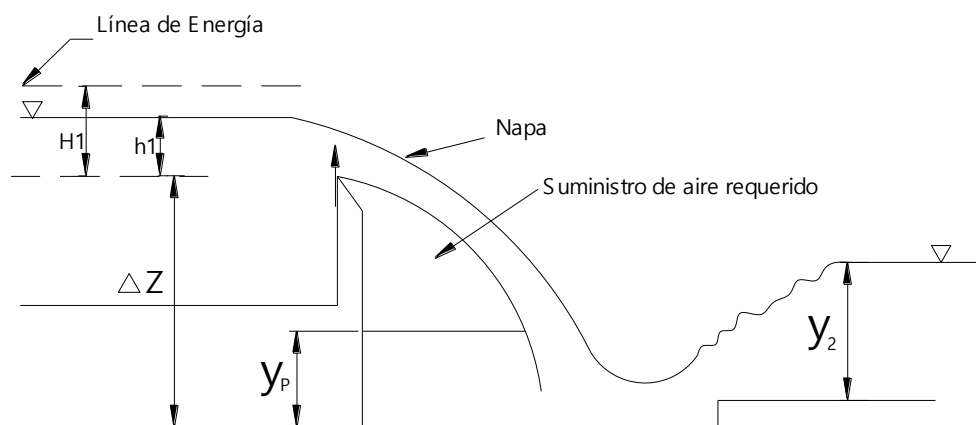


FIGURA 2.7 DEFINICIÓN ESQUEMÁTICA DE UN VERTEDERO DE PARED DELGADA

En el caso de un vertedero de cresta delgada, el concepto de profundidad crítica no es aplicable. Para este tipo de dispositivo de

medición de caudal, la ecuación de descarga es deducida asumiendo que el vertedero se comporta como un orificio con la superficie libre del agua y que las siguientes asunciones son validas.

1. La altura del nivel de agua sobre la cresta es igual a la altura de energía por la que no existe contracción.
2. Las velocidades y líneas de corriente sobre la cresta del vertedero son paralelas y casi horizontales.
3. La velocidad de aproximación del cabezal puede ser omitida.

En el siguiente desarrollo, los efectos de la gravedad son incluidos, pero los efectos de viscosidad, tensión superficial, la naturaleza de la cresta del vertedero, la distribución de velocidades en la aproximación del canal, la rugosidad del canal vertedero, y las dimensiones de la aproximación del canal no son explícitamente consideradas.

Con referencia a la FIGURA 2.10, la velocidad en un punto arbitrario de la sección de control es deducida de la ecuación de Bernoulli como:

$$u = [2g (h_1 - z)]^{0.5} \quad (2.10)$$

Donde:

$z$  = altura de un punto arbitrario en la sección de control.

$u$  = velocidad en el punto.

$g$  = aceleración de la gravedad.

$h_1$  = altura de agua sobre la cresta del vertedero.

El caudal sobre el vertedero es entonces obtenido por integración de la velocidad que pasa por un diferencial de área  $\Delta A = b(z)dz$  desde  $z=0$  hasta  $z=h_1$ .

$$Q = \sqrt{2g} \int_0^{h_1} b(z)(h_1 - z)^{0.5} dz \quad (2.11)$$

Donde  $b(z)$  es el ancho del vertedero a una altura  $z$  sobre la cresta del vertedero. En este punto se introduce un coeficiente de descarga  $C_e$  para contabilizar los efectos no considerados de las asunciones hechas.

$$Q = C_e \sqrt{2g} \int_0^{h_1} b(z)(h_1 - z)^{0.5} dz \quad (2.12)$$

Esta ecuación ha resultado satisfactoriamente probada y es ampliamente empleada. Las ecuaciones de descarga para varias secciones de control derivadas a partir de la ecuación (2.12), están resumidas en el APENDICE D.

Los tipos de escotadura que se emplean normalmente son los siguientes:



1. rectangular
2. triangular de ángulo de 20 a 100°
3. trapezoidal (Cipoletti)

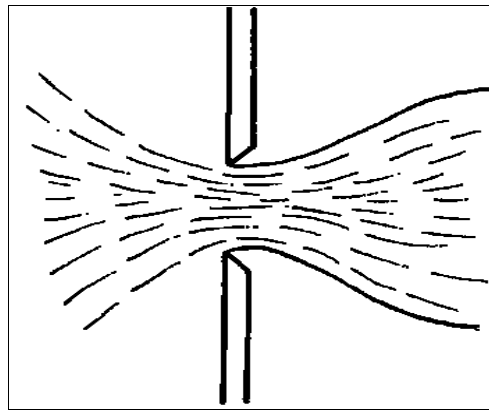


FIGURA 2.8 LOS VERTEDEROS CON PARED DELGADA DEBEN TENER EL EXTREMO AGUDO AGUAS ARRIBA



FIGURE 2.9 CAJA VERTEDERO CIPOLLETTI.

En las corrientes o ríos con gradientes suaves, puede resultar difícil instalar vertederos con pared aguda que requieren un rebose libre de aguas abajo. La otra posibilidad está constituida por los vertederos de pared ancha, que pueden funcionar parcialmente sumergidos

### **Ventajas y desventajas de los vertederos de cresta delgada.\_**

Ventajas: Las principales ventajas de estos aforadores son:

- La construcción de vertederos es por lo general de bajo costo
- Su construcción es sencilla, si se lo hace con material delgado o planchas de metal.
- Los usuarios del agua pueden verificar el suministro de caudal

Desventajas: De las características y experiencias de campo, se admite que este medidor no debe usarse para mediciones de alta precisión toda vez que se han sugerido correcciones por velocidad de acceso, aunque si se recomienda su uso en condiciones de velocidad de acceso muy grande.

- Para su buen funcionamiento se requiere de una calibración en laboratorio.

- Los cuerpo flotantes no pueden pasar con facilidad y pueden causar daños que afectan a la exactitud de la medición del caudal, obstruyendo el flujo y elevando la carga de agua.
- La medición es imposible cuando el nivel aguas abajo se eleva por encima de la cresta del vertedero.
- La pérdida de carga es considerable.
- El uso de vertederos como instrumento de medición de caudales, es hoy en día de uso algo restringido, no solo por los problemas de azolve que producen, el represamiento que ocasionan, pérdidas de carga, efecto de materiales flotantes, la velocidad de llegada, etc., sino más que todo por la dificultad de su calibración.

### **c) Medidores a Régimen Crítico**

La mayoría de las obras de medición de caudales a régimen crítico constan de un tramo convergente, en el que el agua, que llega en régimen subcrítico se acelera y conduce hacia una contracción o garganta, en la que alcanza una velocidad supercrítica, a partir de esta velocidad se va reduciendo gradualmente, hasta llegar, de nuevo, a un régimen subcrítico, en el que se recupera la energía potencial.

Como se aprecia en el ANEXO F, aguas arriba de la obra existe un canal de aproximación, cuya función es producir un régimen laminar, de tal modo que la superficie de agua se mantenga estable y así medir su altura con gran precisión. Aguas abajo del medidor hay un canal denominado de cola, que es de gran importancia para el diseño de una obra de medición, debido a que la gama de niveles de agua en el mismo, será la que determine la altura del resalto en el estrangulamiento, con respecto a la cota de la solera de éste canal de cola.

Dentro de las obras semejantes a las descritas se clasifican aquellos vertederos o aforadores en los que, a su paso por la garganta, en la denominada sección de control, las líneas de corriente van casi paralelas, al menos en una corta distancia en sentido longitudinal.

Los medidores de caudal a régimen crítico esencialmente consisten en la contracción de las líneas de flujo en un canal abierto, de tal modo que se alcanza la altura crítica en la garganta de la estructura. La contracción se produce por un estrechamiento en el canal, ya sea lateral, de fondo, o de ambos.

El desempeño hidráulico de una estructura de este tipo es similar al comportamiento de un vertedero de cresta ancha. La relación altura – caudal de la mayoría de los medidores a régimen crítico tiene la siguiente forma:

$$Q = C_d H^u \quad (2.16)$$

Donde:

$C_d$  = coeficiente de descarga que depende de las dimensiones de la garganta.

$H$  = altura de carga sobre la cresta en el canal de aproximación.

$u$  = factor que varía entre 1.50 y 2.50 dependiendo de la geometría del canal.

Algunos ejemplos de estructuras de medición de caudales a régimen crítico son: los Parshall, aforadores sin cuello, aforadores en H y aforadores de garganta larga

Aunque los vertederos son un método efectivo creando una sección crítica en la cual puede ser determinado el caudal, una instalación de un vertedero tiene dos desventajas. Primero, el empleo de un vertedero causa una relativa gran pérdida de cabezal. Segundo, la mayoría de vertederos crean una zona muerta corriente arriba de la instalación, la cual puede servir como un establecimiento base para la sedimentación y otras impurezas presentes en el flujo. Ambas desventajas pueden ser superadas con un aforador abierto que tiene una contracción, con la cual es suficiente para hacer pasar el flujo por una profundidad crítica.

Un aforador produce un efecto similar al de un Venturi en el flujo dentro de una tubería. Aforadores Venturi han sido utilizados y encontrados indeseables porque la diferencia en los niveles de agua entre la sección corriente arriba y la sección de flujo crítico es relativamente pequeña sobre todo a bajos números de Froude. Este problema puede ser superado con el diseño de un aforador que tenga una sección de garganta construida en la cual el flujo crítico ocurra seguido por una corta longitud de aforador en que un flujo supercrítico ocurra. Al final de la sección de flujo supercrítico, un salto hidráulico ocurre. Un aforador de este tipo fue diseñado por R.L. Parshall en

aproximadamente 1920 y es ampliamente conocido como el aforador Parshall.

Las diferentes dimensiones de los aforadores no son modelos a escala hidráulicos, de manera que no se puede asumir que una dimensión en un aforador de cuatro pies será el doble de las dimensiones correspondientes de un aforador de dos pies. Algunas dimensiones o proporciones son constantes para algunas partes, pero otras varían para cada medida. Como resultado de ello, cada una de las 22 variaciones que se pueden encontrar en los canales de aforo Parshall, y cada uno de los aforadores en H debe considerarse como un dispositivo diferente. Tendrán algunas características comunes, pero cada uno de ellos tiene sus propias especificaciones de fabricación y sus propias tablas de calibración.

A pesar de esta complicación, los aforadores se utilizan ampliamente debido a sus ventajas: se construyen para satisfacer una necesidad particular; son dispositivos de medición "normalizados", es decir, que se fabrican e instalan de acuerdo con las especificaciones y no necesitan calibración, y la medición se puede tomar directamente de las tablas publicadas. Al igual que los vertederos, es preferible que los aforadores funcionen con descarga libre; algunos tipos pueden funcionar de manera satisfactoria en situación en parte sumergida, es

decir, cuando las aguas descansan en el aforador y crean cierta restricción de la corriente. Si el efecto es previsible y cuantificable, el problema no es grave, pero implica que se debe medir la profundidad del caudal en dos puntos en el aforador, como se indica en la FIGURA 2.10 y que se aplique un factor de corrección a las tablas de aforo.

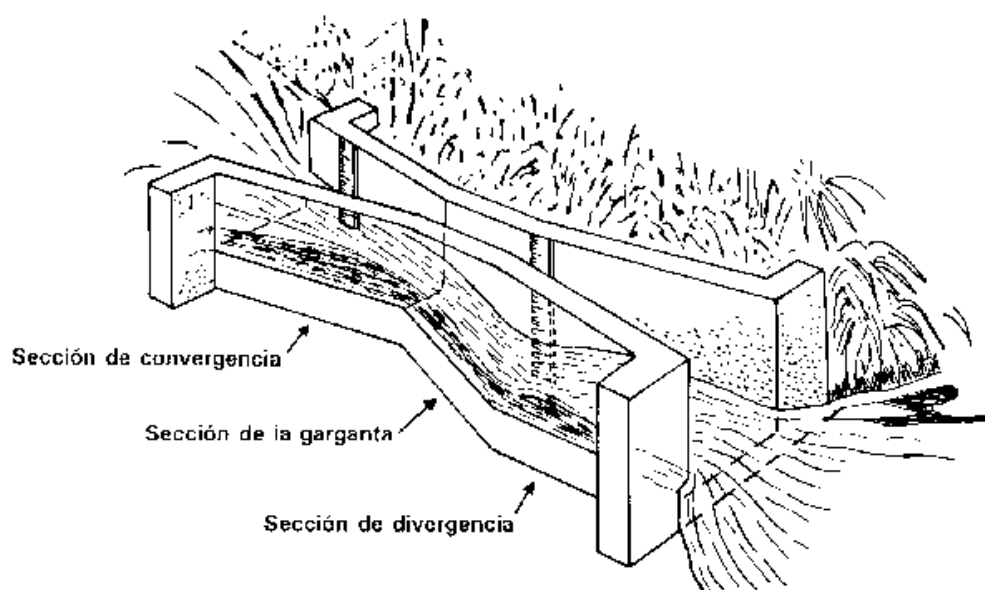


FIGURA 2.10 CANAL DE AFORO PARSHALL

**Medidor Parshall.** Este medidor a régimen crítico fue ideado por Ralph L. Parshall. En este aforador se aplica el principio de Venturi y por lo tanto se usa el teorema de Bernoulli. En la literatura es posible encontrar las dimensiones estándar de los Parshall, así como sus relaciones altura caudal. El rango para la medición práctica de caudales con estas estructuras es de 0.09 lt/s a 93 m<sup>3</sup> /s.



Ventajas:

- Permite medir con precisión tanto caudales pequeños como grandes, para tal fin se construyen de diversos materiales.
- Soluciona el problema de azolve muy comprometido y notorio en los vertederos, por mantenerse libre de obstrucciones gracias a su geometría y la velocidad en la garganta.
- El caudal no está influenciado por la velocidad de llegada.
- Las pérdidas de carga son insignificantes frente a otras estructuras.
- Su uso está recomendado tanto para el aforo de canales de riego, canales de drenaje así como de ríos pequeños.
- La velocidad de aproximación no afecta las medidas de caudal cuando el aforador es construido de acuerdo a las dimensiones dadas y son usadas cuando el ingreso de flujo es uniformemente distribuido y libre de turbulencia

Desventajas:

- Son generalmente más caros en su construcción que los vertederos.
- No pueden ser usados en lugares cercanos a las derivaciones.

- El flujo de entrada debe ser uniforme y la superficie del agua relativamente suave
- Sus mediciones son satisfactorias solo si la construcción es cuidadosa y exacta.
- Si no se construye con las dimensiones exactas la tabla de magnitudes no es confiable.
- Los pequeños aforadores requieren una pequeña pérdida de carga para la medición de flujo modular; aunque las calibraciones de flujo sumergido son confiables no es recomendable diseñar aforadores para flujo no modular porque el manejo de las dos cargas consume tiempo y da como resultado mediciones de baja exactitud.
- Presentan una gran dificultad para su construcción con los siguientes problemas de calibración, razón por la cual su empleo se hace cada vez más restringido.



FIGURA 2.11 AFORADOR PARSHALL EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE REE.

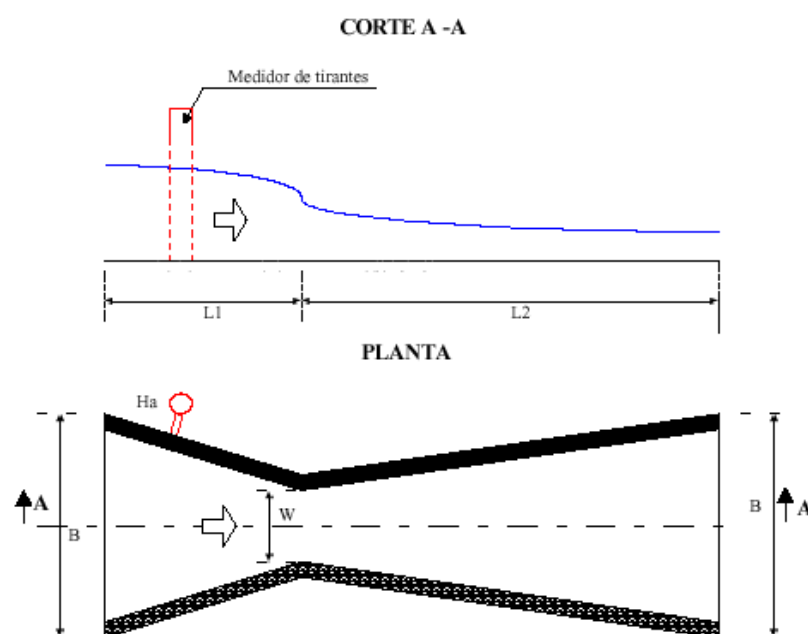


FIGURA 2.12 AFORADOR SIN CUELLO

**Aforador sin cuello.\_** Este medidor relativamente conocido con el nombre de “Cutthroat Flume” fue desarrollado en EE.UU., y al igual que los aforadores Parshall, las dimensiones están definidas por la amplitud de la garganta  $W$  y por la longitud total “ $L$ ”. El objetivo principal de su desarrollo fue el de simplificar su construcción en comparación con un aforador Parshall.

La unión de estas dos secciones forma una contracción en la estructura, conocida como garganta de aforador, ( $W$ ) la cual carece de cuello, de allí su denominación, tanto la sección de entrada como la de salida tienen un mismo ancho ( $B$ ) que es función de la garganta y de la longitud del aforador ( $L$ ).

#### Ventajas:

Tal como se indicó en líneas anteriores, la ventaja de este aforador es evidentemente la facilidad de su construcción, ya que todas las dimensiones de su estructura giran en torno a los valores de  $L$  y  $W$ .

Para medir el caudal de los aforadores sin cuello se miden las cargas  $H_a$  y  $H_b$ , para luego hallar el grado de sumersión de acuerdo a  $S = H_b/H_a$ .

**Aforadores en H.** El Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos diseñó un grupo de aforadores especiales denominados aforadores H para medir los caudales con exactitud y continuidad a partir de parcelas de escorrentía o de pequeñas cuencas experimentales. Los requisitos del diseño eran que el aforador debería medir caudales escasos con exactitud, pero tener también una buena capacidad para caudales elevados, y que no necesitara una poza de amortiguación. Otro requisito consistía en que pudiera dar paso a una escorrentía que contuviera una fuerte carga de sedimentos. La solución práctica que se encontró en los Estados Unidos como para la construcción de canales de aforo Parshall fue dar las especificaciones originales en pies y utilizar las conversiones métricas para el caudal (Bos 1976).

Los aforadores en H pueden funcionar parcialmente sumergidos. La sumersión aguas abajo produce un efecto de remanso del agua en el aforador y un aumento de la profundidad del caudal. La curva de corrección muestra en cuánto se debe reducir la profundidad medida en el aforador para obtener la profundidad equivalente de un caudal libre con el fin de utilizar las tablas de calibración.

Los aforadores en H se suelen prefabricar con láminas de metal y pueden utilizarse en forma provisional empleando sacos de arena para

formar un canal de acceso o también como instalaciones permanentes, utilizando hormigón o mampostería. Al igual que con el canal de aforo Parshall, se pueden efectuar mediciones en un punto de la profundidad del caudal a partir de una plancha de medición situada en el muro del canal, o en un registro constante a partir de un registrador de un flotador. En todos los aforadores existe una curva del cono de depresión, es decir, el nivel de superficie desciende cuando el agua se acelera en el punto de descarga; es esencial, por consiguiente, que la medida de la profundidad del caudal se efectúe exactamente a la distancia especificada aguas arriba desde la sección de control.

Los aforadores en H tienen otras dos ventajas. El agua fluye a través de la escotadura rápidamente de manera que no se produce depósito de sedimentos en el aforador. Por otro lado, el diseño de salida con una escotadura con pendiente del fondo hacia aguas arriba no queda obstruido por residuos flotantes. Si en la escotadura se retiene algún residuo, el agua se remansa hasta que la obstrucción es arrastrada por la corriente por encima de la escotadura.

**Aforador de garganta larga.\_** Son aforadores de sección crítica, en los cuales el flujo crítico se produce mediante una contracción tanto en las paredes laterales como en el fondo, o en ambos, FIGURA 2.13. La sección contraída se denomina “garganta”, y debe tener una longitud suficiente para que en ella las líneas de corriente sean prácticamente paralelas. En este sentido es que se denominan de “garganta larga”. Esta familia de aforadores, de los cuales los vertedores de cresta ancha son un caso especial, ha sido usada con éxito desde hace varios años. Una gran variedad de configuraciones específicas son posibles, como se muestra en el ANEXO H, dependiendo del tipo de canal de aproximación, de la forma de la sección de garganta, la localización y forma en que se mide el nivel de agua, el empleo o no de una sección de transición divergente.

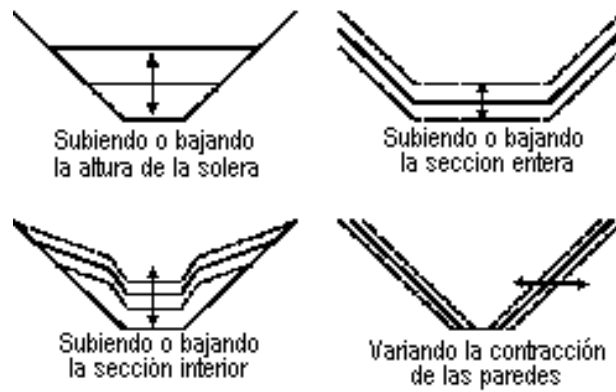


FIGURA 2.13 DIFERENTES FORMAS DE CONTRAER LA SECCION DE UN CANAL



FIGURA 2.14 AFORADOR DE GARGANTA LARGA EN UNA ZANJA



En años recientes los aforadores de garganta larga han llegado a ser las estructuras de aforo escogidas para la mayoría de las aplicaciones, superando a los Parshall y otras estructuras tradicionales <sup>(6)</sup>.

Estas estructuras tradicionales eran calibradas en laboratorio, porque el flujo a través de su sección de control es curvilíneo. En contraste, las líneas de corriente son esencialmente paralelas a la sección de control de un aforador de garganta larga, haciendo que ellos puedan ser analizados usando la teoría de la hidráulica de medición en canales.

El principio de la energía, profundidad crítica, y la teoría de la capa límite son combinadas para medir el caudal con los aforadores de garganta larga. Es así que estos aforadores y vertederos pueden ser calibrados por computadora. Además pueden tener casi cualquier forma de sección transversal y pueden ser implantados en la mayoría de geometrías de canales nuevos o existentes. Una variante de este tipo de aforadores son los vertederos de pared ancha o también llamado aforador rampa.

---

<sup>6</sup> Fuente Agricultural Research Service (ARS)

Ventajas:

Los aforadores de garganta larga tienen las siguientes ventajas:

- Previsibilidad teórica de su desempeño hidráulico.
- Si ocurre el régimen crítico dentro de la sección de garganta, es posible calcular la curva de calibración con un error no mayor del 2%.
- Pueden lograrse diseños en los que es posible medir con gran exactitud el rango de caudales esperados.
- Las pérdidas de carga son mínimas y pueden estimarse con gran exactitud.
- Se tienen pocos problemas ocasionados por materiales flotantes, debido a que las transiciones de entrada y salida son graduales.
- Estos aforadores son, los más sencillos y económicos.
- Se elimina la necesidad de calibrar en el laboratorio, ya que pueden ser seleccionados, diseñados y calibrados con programas de computación basados en una teoría hidráulica bien establecida.

El tirante debe medirse en una sección aguas arriba del aforador, donde el flujo es subcrítico, y la superficie libre es estable, debido a que el flujo en la sección crítica es muy inestable. APENDICE G.

### **Comparación entre las ventajas y desventajas de las estructuras de aforo.\_**

Tomando en consideración los diferentes parámetros planteados para la comparación de los aforadores, el cuadro del ANEXO I muestra la comparación de los diferentes tipos de aforadores clasificados en tres grupos:

- a) Vertederos de cresta delgada
- b) Vertederos de cresta ancha
- c) Medidores a régimen crítico

## CAPÍTULO 3

### 3. EQUIPO DE MEDICIÓN CONTINUA DE CAUDALES.

Algunas veces, cuando se desea calcular el caudal máximo de una corriente, basta una sola medición de la profundidad máxima del canal para determinarlo, como cuando se emplea el método velocidad-superficie (7). Si hace falta construir un hidrograma (8), o totalizar el caudal, es necesario un registro constante de los cambios de nivel de agua.

#### 3.1 Características y Especificaciones.

Durante décadas el método común para el registro constante de los cambios de nivel de agua era el empleo del limnógrafo, que consiste de un flotador cuyo ascenso y descenso en una poza de amortiguación se registraba en un diagrama movido por un aparato de relojería. Los limnógrafos eran flexibles en el sentido de que se podía utilizar un engranaje que permitía abarcar variaciones de nivel grandes o pequeñas y la relación tiempo-velocidad de los diagramas podía también variar por medio del engranaje en el aparato de relojería.

La desventaja era la sensibilidad a errores accidentales y a un mal funcionamiento; para indicar, por ejemplo, algunos de ellos, la cañería

---

<sup>7</sup> Método que emplea la velocidad promedio y la superficie perpendicular al flujo basado en la ecuación  $Q=VA$ .

<sup>8</sup> Gráfica del caudal en función del tiempo.

de la poza de amortiguación se bloqueaba, los insectos anidaban en la caja del registrador, la humedad o la aridez provocaban el desborde o la sequedad de la tinta del registrador, el diagrama podía estirarse o contraerse, el reloj se paraba, el observador no puede llegar al lugar para cambiar el diagrama, y muchos otros problemas.

Las inspecciones diarias no son siempre posibles en lugares remotos o de difícil acceso. Además de las dificultades de obtener datos correctos, el análisis y la computación de los diagramas son laboriosos.

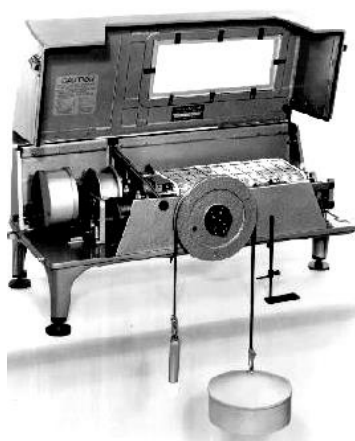


FIGURA 3.1. LIMNÍGRAFO CON FLOTADOR

Afortunadamente la tecnología moderna ha mejorado considerablemente en lo que hace a la recopilación y el procesamiento de datos. Por ejemplo, los detectores no flotantes del nivel se pueden basar en la capacitancia eléctrica del material, en la presión sobre un

bulbo herméticamente cerrado, en la descarga de burbujas de aire, o en transductores ultrasónicos. Los más comúnmente utilizados hoy son los transductores ultrasónicos. Estos detectores se pueden conectar con ordenadores, relojes automáticos y almacenamiento de memoria para lograr cualquier tipo y frecuencia requerida de registro, y traspasar los datos almacenados a un ordenador para efectuar un análisis rápido.

La transmisión de datos puede hacerse por cable o por medios inalámbricos. Además estos equipos están en capacidad de convertir directamente la lectura del nivel de agua en caudal, después de haber sido desarrollada la correspondiente curva de calibración para la estructura de aforo.

Las ventajas que presenta un equipo con capacidad para llevar un registro de valores sobre uno que no tiene esta capacidad son:

- En estructuras de aforo expuestas a fluctuaciones diarias del caudal, un continuo registro del caudal permite la manera más precisa de determinar un promedio diario de la descarga.
- Caudales máximos y mínimos pueden ser registrados, la duración y el instante en que ocurren.

- Registros pueden ser obtenidos de estaciones de aforo en donde un observador no siempre este disponible.

### **Clasificación de los equipos de medición continua de caudal.\_**

Estos equipos pueden ser clasificados en dos grupos según sea la forma que registren o almacenen la información. El registro puede ser analógico (proveen como resultado una grafica) o digital (perforando una cinta de papel, almacenando en una memoria o transmitiendo los valores).

**Registadores gráfico-analógicos:** En general, los registradores analógicos o gráficos consisten de dos elementos principales: un mecanismo cronométrico impulsado por una fuente, que puede ser un motor eléctrico, y un elemento sensor del nivel de superficie de agua impulsado por un flotador, cable o cinta. La figura 3.2 muestra un registrador de tambor horizontal, en el cual se observa la posición de la pluma a lo largo del tambor, y el elemento sensor de nivel conectado a la rueda del tambor.

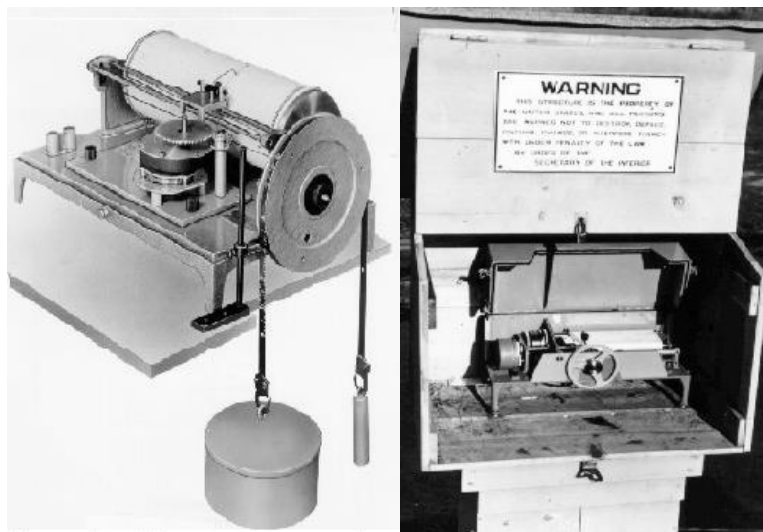


FIGURA 3.2. EQUIPO CON REGISTRO CONTINUO DE NIVEL ANALÓGICO.

**Registradores digitales:** Los registradores digitales utilizados en las estaciones de aforo usualmente se clasifican en dos tipos :

- De cinta de papel perforado (figura 3.3)
- De conversión de datos analógico-digital.

Ambos tipos son operados eléctricamente (usualmente por baterías) y almacenan las lecturas sobre cintas de papel o en una memoria a intervalos de tiempo seleccionados.



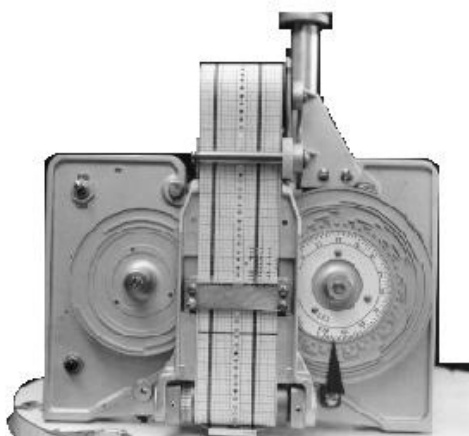


FIGURA 3.3. REGISTRADOR DIGITAL CON CINTA DE PAPEL PERFORADO

El equipo basado en cintas de papel perforado es en la actualidad ampliamente utilizado especialmente para el aforo de corrientes naturales, ya que es muy práctico para usos en el campo en donde la temperatura, humedad, y fuentes de energía son muy variables. El nivel de superficie de agua es transmitido a la cinta de papel perforado, usualmente a través de un eje de rotación sobre un flotador y arreglo de poleas. La rotación del eje es convertida por el registrador en un código en forma de perforaciones sobre la cinta de papel. Convertidores electrónicos pueden convertir los registros en las cintas de papel perforado en entradas compatibles para una computadora digital.

Los mayores avances recientes han sido en el área de los data logger<sup>9</sup>. Este grupo de instrumentos electrónicos se ha desarrollado muy rápido en los últimos años. Pequeñas baterías utilizadas como fuente de poder, unidades totalmente programables, ofrecen muchas características en relación al registro de datos. Algún tipo de transductor es requerido con este equipo para detectar el nivel de la superficie del agua (transmisor de nivel). El rango de opciones va desde sensores de presión en posillos de amortiguación, bulbos transductores de presión sensibles al nivel de agua hasta sensores acústicos. En todos los casos es detectada una salida analógica (voltaje o corriente), digitalmente registrada, y almacenada por el data logger.

Este tipo de sistemas es quizás el que mejor se ajusta a la transmisión de datos por medios físicos o inalámbricos hacia un control remoto central. En sitios remotos, la fuente de poder puede ser los paneles solares, aunque el uso de estos paneles se encuentra limitado por el vandalismo. Los equipos de este tipo son los que más se ajustan a las necesidades de la estación de aforo de caudales que se diseña en este proyecto, ya que presentan muchas ventajas en comparación con

---

<sup>9</sup> Sistema de adquisición de datos.

los equipos analógicos, es por ello que vamos extender la investigación respecto a estos equipos.



FIGURA 3.4. UNIDAD PROGRAMABLE A BATERIA OPERANDO EN UNA ESTACION DE AFORO

### 3.2 Equipos Medidores de Flujo en Canales Abiertos.

Se los puede clasificar en tres tipos, de acuerdo a las funciones que son capaces de cumplir cada uno de estos dispositivos, así encontramos en el mercado:

1. Equipos que solo detectan el cambio de nivel (transductores).



FIGURA 3.5. ALGUNOS TIPOS DE TRANSMISORES DE NIVEL

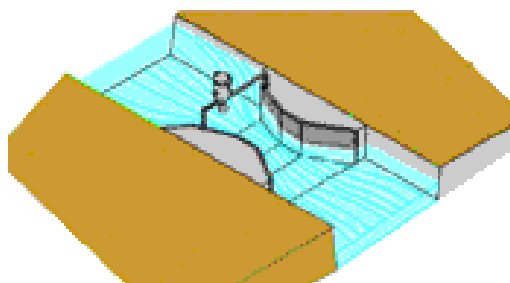


FIGURA 3.6 INSTALACIÓN DE UN TRANSMISOR DE NIVEL ULTRASONICO



FIGURA 3.7. SENSOR DE NIVEL QUE EMPLEA UN TRANSDUCTOR DE PRESION

2. Totalizadores de caudal (necesitan la señal de entrada de un transductor).



FIGURA 3.8. TOTALIZADOR ELECTRONICO DE CAUDAL

3. Equipos que integran en un solo paquete tanto el transmisor de nivel como el totalizador de caudal.

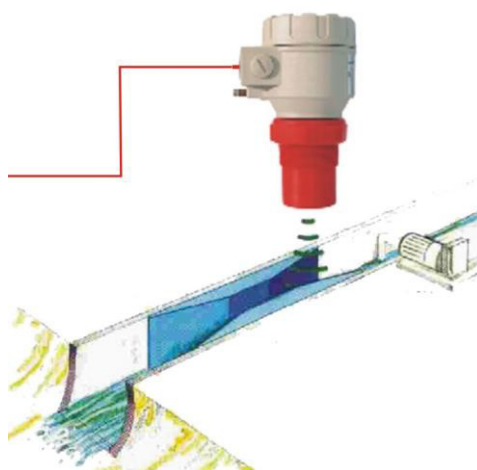


FIGURA 3.9. TOTALIZADOR CON SENSOR ULTRASONICO



FIGURA 3.10. EQUIPO CON TRANSDUCTOR DE PRESION

De entre los diferentes equipos que existen en el mercado, se seleccionan para esta aplicación en particular, al modelo 668 de DELTA CONTROLS, y como transmisor de nivel al modelo 872FM del mismo fabricante, ya que cumplen con las especificaciones requeridas y además presentan las siguientes ventajas:

- Representación en nuestro país del fabricante.
- Garantía de equipos contra defectos de fabricación.
- Asesoría permanente.

# CAPÍTULO 4

## 4. DISEÑO DE LA ESTACIÓN DE AFORO.

### 4.1 Selección de la Sección de Control.

Una de las tareas fundamentales antes de diseñar cualquier obra hidráulica es la obtención de datos confiables mediante un reconocimiento previo y luego un levantamiento de los datos del terreno. Es así que en el presente capítulo se comienza por hacer un reconocimiento de campo del canal en cuestión. Este trabajo se ha efectuado a través de toda la trayectoria del canal, desde su inicio en el interior de las instalaciones de REE hasta el punto de inmisión (<sup>10</sup>), sobre el río Teaone, a continuación se describe paso a paso este trabajo:

**Reconocimiento de campo:** El recorrido del efluente tratado empieza con la descarga sobre el canal, por medio de una tubería que lo interconecta con la piscina de Estabilización, que es la última etapa del tratamiento de las aguas residuales (FIGURA 4.1); esta descarga es controlada por medio de una válvula operada manualmente. Para una mejor descripción del recorrido de los efluentes, se ha dividido la

---

<sup>10</sup> Punto de la trayectoria de una corriente superficial en donde se produce la descarga de efluentes.



trayectoria del canal en tres tramos como se muestra en el plano del ANEXO K.

Una vez que los efluentes están encausados en el primer tramo del canal, que es paralelo a la vía de acceso a la planta, son conducidos hasta una alcantarilla ubicada perpendicularmente al canal, y que sirve para el transporte del agua por debajo de la carretera de acceso a la refinería.

Finalmente el último tramo del recorrido se lo hace por medio de un canal excavado de unos 370 m de longitud, que conduce en línea recta el efluente hasta el punto de descarga sobre el río Teaone. Las características más importantes observadas en el reconocimiento de campo fueron:

#### TRAMO #1

- Este tramo se encuentra dentro de las instalaciones de REE, por lo que no existe peligro de vandalismo en el caso de instalación de un equipo automático registrador de caudales.
- En su cabecera se encuentra instalada una compuerta cuyo objetivo es retener el agua aceitosa.
- El canal a lo largo de este tramo tiene revestimiento de hormigón.

## TRAMO #2

- El segundo tramo del canal corresponde a la alcantarilla que pasa bajo la vía de acceso, y que sirve de nexo entre los tramos interior y exterior a las instalaciones de la refinería.
- Este tramo también recepta la escorrentía de las laderas adyacentes al terminal petrolero de Balao, lo que representa un inconveniente a la hora de determinar los caudales de operación.

## TRAMO #3

- Este tramo se encuentra fuera de las instalaciones de REE, por lo que existe peligro de vandalismo en el caso de instalación de un equipo automático registrador de caudales. Además presenta el inconveniente de recibe escorrentía de laderas adyacentes.
- Esta parte consiste de un canal excavado (paredes sin recubrir), se observa pequeñas variaciones en la sección transversal, alineación bastante regular, hierba fina en las orillas, aunque se observa la presencia de piedras en el lecho del canal.
- La erosión también juega un papel importante en esta parte del canal durante los periodos de lluvia, ya que debido a las paredes no tiene recubrimiento, lo cual origina la erosión del lecho y posterior arrastre de sedimentos.



FIGURA 4.1. VISTA PANORÁMICA DE LA REE.



FIGURA 4.2 PRIMER TRAMO DEL CANAL CON SECCIÓN TRAPEZOIDAL



FIGURA 4.3 ENTRADA A LA ALCANTARILLA SUBTERRÁNEA



FIGURA 4.4 CANAL EXCAVADO EXTERIOR

**TABLA 5**  
**CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LOS TRAMOS DEL**  
**CANAL**

TRAMO #	LONGITUD	PARED	SECCION
1	145 m	Hormigón	trapezoidal
2	30 m	Hormigón	circular
3	370 m	Tierra	excavada

**Selección del punto de aforo:** Las alternativas de puntos que podrían servir para la instalación de la estación de aforo son las siguientes:

1. En un punto en la mitad del trayecto del primer tramo.
2. Al final de del primer tramo del canal, es decir antes del paso del agua a través de la alcantarilla.
3. En un punto dentro de la alcantarilla (TRAMO #2)
4. En un punto a mitad de trayecto del tercer tramo del canal.

Los datos tomados en cuenta en el reconocimiento de campo se detallan en la TABLA 1 donde se muestra las facilidades para la medición de caudal y las características geométricas de los tres tramos del canal. De acuerdo a esta información se selecciona como punto de aforo al segundo de la lista, es decir al que esta situado en la parte final del primer tramo del canal. Esta selección presenta las facilidades que se mencionan a continuación:

- Sección transversal trapezoidal uniforme con pared íntegramente recubierta de hormigón.
- Fácil acceso al lugar para tareas de mantenimiento y fuentes de energía disponibles.
- Ubicación dentro de las instalaciones, lo que brinda la protección del cerco perimetral contra el vandalismo que podría afectar al equipo totalizador de caudales.
- El punto seleccionado se encuentra lo suficientemente alejado corriente arriba de otras estructuras que podrían afectar la medición, como son compuertas y alcantarillas.

**Nivelación del punto definido:** Se ha realizado el levantamiento del perfil longitudinal del canal a la altura del punto seleccionado para el levantamiento de la estructura.

El procedimiento de nivelación se lo realizó empleando el método tradicional que utiliza una manguera transparente con agua; este procedimiento, aunque poco técnico, es muy práctico, y lo más importante es que permite determinar con una buena aproximación la pendiente promedio de la solera del canal, la cual es de 0.002 m/m, lo que corresponde a un flujo estable es decir subcrítico.

**Sección transversal:** Para obtener las dimensiones de la sección transversal trapezoidal del canal, se han tomado mediciones empleando un flexómetro y una plomada que ha servido para mantener la perpendicularidad.

**Determinación del caudal de operación máximo y mínimo:** El caudal máximo de operación, se lo determina a partir de la creciente provocada por la esorrentía que recoge el canal. El caudal de una creciente producida por una *lluvia de diseño* <sup>(11)</sup>, que cae sobre la cuenca de interés, se obtiene a partir de la ecuación (2.4)

$$Q = C i A / 3.6$$

---

11 Precipitación de referencia que emplean algunos métodos hidrológicos para el cálculo de crecientes en cuencas pequeñas.

Reemplazando en la ecuación anterior un coeficiente de escorrentía “C” igual a 0.7, una intensidad promedio de lluvia “i” de 20 mm/h <sup>(12)</sup>, y la superficie de cuenca que nos interesa “A” igual a 0.2 km<sup>2</sup> ; Área mostrada en el (APÉNDICE K).

$$Q = 0.7 (20 \text{ mm/h}) (0.2 \text{ km}^2) / 3.6$$

$$Q = 0.77 \text{ m}^3/\text{s} = 770 \text{ l/s}$$

Finalmente se escoge para el diseño un  $Q_{MAX} = 800 \text{ l/s}$ . El caudal mínimo de operación es igual a la menor capacidad de tratamiento de efluentes de la planta  $Q_{MIN} \approx 210 \text{ m}^3/\text{h}$  (60 l/s).

**Gama de caudales:** En el CAPITULO 2, se definió el término gama de caudales mediante la ecuación (2.3).

$$\gamma = \frac{Q_{MAX}}{Q_{MIN}}$$

$$\gamma = \frac{800 \text{ l/s}}{60 \text{ l/s}}$$

Reemplazando los caudales en esta ecuación se obtiene:  $\gamma = 13.3$

---

12 Dato proporcionado por la Estación Metereológica Esmeraldas del Instituto Oceanográfico de la Armada.



## 4.2 Cálculo y Dimensionamiento de la Estructura.

**Selección del aforador.** \_La selección de aforadores trae consigo una serie de aspectos que deben ser tomados en cuenta, como son los aspectos físicos del lugar en donde se construirá la obra, los aspectos hidráulicos que determinarán la forma y dimensiones del aforador, y las recomendaciones técnicas y criterios de los trabajadores de la REE que están relacionados con la operación del área. Además se utiliza como referencia un flujograma para la selección de estructuras de aforo que se muestra en el ANEXO M, y se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- Los criterios de selección descritos en el CAPITULO 2 del presente trabajo
- Comparando las ventajas y desventajas de los diferentes aforadores mostrados en el resumen del ANEXO I.
- Tomando en cuenta las características físicas del lugar y las necesidades de la unidad de Protección Ambiental y Seguridad Industrial de REE, que es el departamento que auspicia este proyecto.

Esta selección no fue tan sencilla, debido a que no se pudo definir fácilmente entre los aforadores de pared ancha y los aforadores de garganta larga con solera constante. Es decir que como ambas estructuras mencionadas presentaban similares ventajas, se tuvo que recurrir a otros parámetros de diferenciación más claros.

La selección final fue hecha en base a los siguientes argumentos. Aunque el aforador de garganta larga con solera constante presenta la ventaja de que no opone ninguna restricción al arrastre de sólidos es decir necesita menos mantenimiento; sin embargo no se considera que este sea el criterio más importante para la selección de la estructura de aforo. Por otro lado el vertedero de pared ancha presenta la ventaja de que puede ser calibrado y diseñado por medio del computador, que es un argumento de mayor peso. Además este tipo de vertederos con una adecuada transición hacia la sección de control puede también evitar eficientemente la restricción al paso de sólidos.

Por otro lado la forma de la sección de control también fue muy discutida. Si bien es cierto que aunque en un aforador de sección de control de forma triangular o trapezoidal se pueden lograr lecturas más precisas para caudales bajos, esta forma de sección presenta el

inconveniente de una construcción más complicada por la forma de la sección de transición que se forma. En cambio en una sección rectangular el dimensionamiento y construcción de la obra es mucho más sencilla que otro de cualquier forma.

El análisis de los criterios anteriormente mencionados, llevan a la selección de una estructura de aforo del tipo *vertedero de pared ancha* con una *sección de control rectangular*.

**Diseño de la estructura.\_** En esta parte del estudio se muestra el procedimiento de cálculo para diseñar el vertedero que será construido en el punto de aforo definido previamente. También se describen las ecuaciones que rigen el comportamiento hidráulico, y las restricciones que deben cumplir dichas ecuaciones.

Con ayuda del programa de computación de libre acceso “Winflume Versión 1.05” <sup>(13)</sup>, se procede a realizar el diseño del tipo de vertedero que se ha seleccionado (ANEXO N).

---

<sup>13</sup> Software desarrollado en los Estados Unidos a través de la Cooperación Original y Esfuerzos de Agricultural Research Service (ARS) y el International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI).

El WinFlume es un programa que sirve para 2 objetivos básicos:

1) La calibración de la estructura de medida del flujo existente y el criterio para el análisis del aforador de garganta larga. WinFlume puede generar las tablas con la relación  $Q$  vs.  $h_1$ , ecuaciones de curva  $Q$  vs.  $h_1$  para el uso de las tablas de datos generadas por el programa. WinFlume, también puede comparar los caudales ( $Q$ ) medidos en campo con los datos del  $h_1$  de la valuación teórica en una estructura. WinFlume puede usarse como una herramienta de revisión de diseño para identificar las deficiencias del diseño en las estructuras existentes.

2) El diseño de nuevas estructuras con WinFlume puede usarse para diseñar nuevos medidores de flujo en un canal existente. Los diseños pueden ser desarrollados por el usuario y pueden analizarse usando WinFlume para asegurar el apropiado funcionamiento. El módulo de diseño puede usarse para desarrollar diseños que tienen pérdidas de carga requeridas con sus características y otros requisitos adicionales.

**Consideraciones geométricas e hidráulicas para el diseño con Winflume:**

*1. Condiciones existentes en el canal*

- Rango de caudales
- Influencia de alguna estructura de control corriente arriba.
- Numero de Froude uniforme.
- Pendiente de solera y sección transversal del canal
- Material y rugosidad de paredes del canal (coeficiente de Manning).

*2. Condiciones recomendadas para el punto de aforo*

- Las Estructuras Canal Arriba:
- Bordo o borde libre (Freeboard) requerido en condiciones de máximo flujo.
- Los Niveles del Canal Aguas Abajo (Canal de Cola):
- Transporte de Sedimentos:

*3. Método de contracción.*

*4. Dimensiones sugeridas del aforador*

- Altura de la cresta p1:
- La longitud de canal de acceso:
- La longitud de la transición convergente:
- La longitud de la sección de control:
- Pendiente de la sección después de la garganta:

5. *Criterio de pérdida de carga*
6. *Método de medición de cabeza*
7. *Regla calibrada a emplearse.*

**Procedimiento de cálculo del software:** WinFlume construye aforadores virtuales basados en el diseño inicial y evalúa entonces según 4 criterios del diseño primarios y 2 criterios del diseño secundarios. Los cuatro criterios primarios son:

- 1) El Número de Froude del canal aguas arriba debe ser menor de 0.5
- 2) El bordo libre (freeboard) canal arriba en flujo máximo debe reunir los requisitos especificados por el usuario.
- 3) Tirante aguas abajo aceptable menor al tirante en condiciones de flujo mínimo.
- 4) Tirante aguas abajo aceptable menor al tirante en condiciones de flujo máximo

Los criterios del diseño secundarios son:

- 1) El diseño debe reunir los requisitos de exactitud a flujo mínimo.
- 2) El diseño debe reunir los requisitos de exactitud a flujo máximo.

Todo diseño por lo menos cumplen con estos 4 criterios del diseño primario que se muestra al usuario. El requisito de exactitud es considerado un criterio secundario porque el usuario puede mejorar la exactitud del aforador sin modificar el diseño de la estructura a través de la opción de un método más preciso para medir el canal arriba la carga o altura con referencia a la cresta del aforador. Además de los diseños e incluso los incrementos del cambio de la reducción especificados por el usuario, WinFlume intentará también encontrar los diseños que tienen la posible pérdida de carga mínima y máxima para un sitio dado, el diseño que tiene la pérdida de carga intermedia (exactamente el freeboard que puede variar afectando la protección de la sumersión), y el diseño que produce una pérdida de carga con la caída de agua en el lugar.

Después de examinar los resultados, el usuario puede escoger hacer el nuevo diseño de cualquiera de los diseños presentados, o puede quedarse con el diseño original. Para ayudar al usuario comparando los diseños, se presentan los detalles adicionales sobre la pérdida de carga, los errores de la medida estimados, el freeboard disponible, y la protección de la sumersión.

Protección de la sumersión es la distancia vertical entre el nivel del canal aguas abajo aceptable y el nivel del canal aguas abajo real. Esto se piensa como seguro contra los errores estimando las condiciones del canal de aguas abajo en el sitio. Escogiendo un diseño con más protección a la sumersión (y así, más pérdida de carga), permite estimar algún error en el nivel del canal de aguas abajo sin causar ser sumergido el aforador. Si un aforador está agregándose a un sistema del canal existente y la carga pequeña está disponible, el diseñador no puede tener opción a seleccionar un aforador con menor protección a la sumergencia.

### **El Algoritmo de Diseño de WinFlume:**

- 1) El usuario escoge uno de los cuatro métodos de cambio de la reducción, y un incremento para evaluar los diseños (por ejemplo, evaluar los diseños a la altura de la cresta con incrementos de 0.1 pies).
- 2) WinFlume pone entre paréntesis el rango de posibles diseños evaluando la actuación del aforador en condiciones de flujo máximo:
  - La máxima posible reducción de la garganta-sección que necesita para producir un máximo nivel de agua canal arriba igual a la profundidad del cauce.



- La contracción mínima que produce un Número de Froude canal arriba un valor de 0.5 o menor a descarga máxima, y un nivel de agua canal arriba que está a un nivel más alto del el nivel del canal aguas abajo a descarga máxima.

3) WinFlume construye y evalúa los diseños “virtuales” del aforador entre el más bajo y la mayor contracción de acuerdo a los límites especificado por el usuario. WinFlume identifica el rango de diseños aceptables, y usa una búsqueda de la bisección para determinar las cantidades mínimas y máximas de reducción que rendirán los diseños aceptables. Esto viene a ser los diseños de pérdida de carga mínimos y máximos. Diseños que tienen la pérdida de carga intermedia y pérdida de carga igual a la caída del fondo del canal (si hay) son usados con una técnica para simular la bisección.

4) Se presentan los resultados al usuario para que pueda escoger y aceptar uno de los diseños o desechar los resultados del análisis.

Sólo encontramos los diseños de los 4 criterios del diseño primario (freeboard, el Número de Froude, no sumersión al mínimo y máximo flujo) que se presentan al usuario, a menos que no haya ningún diseño

aceptable. Diseños que cumplen los 4 criterios primarios, pero que no cumplen el requisito del error, pueden ser mejorados por el usuario especificando un método de medida de nivel de agua más preciso.

**Resultados Obtenidos:** El software presenta los resultados del diseño mediante un reporte en el que se evalúa el cumplimiento de cada uno de los criterios de diseño. Además para facilitar la construcción del aforador, y la instalación de un dispositivo registrador de nivel, se genera la siguiente información que se muestra en los anexos:

- Curva de calibración altura de carga versus caudal (H vs. Q)
- Escala limnimétrica graduada.
- Ecuación que rige el comportamiento hidráulico del aforador.

#### **4.2.1 Especificaciones de construcción.**

**Armadura de acero en la solera:** Su función es la de impedir el desgaste de la solera a lo largo de la rampa de acceso y sección de control, para ello se emplean varillas de acero de 8 mm tejidas en una malla de 15 x 15 cm.

**Drenaje:** Esta constituido por un tubo PVC de diámetro 4", que atraviesa toda la estructura. Durante el funcionamiento normal de la obra debe llevar un tapón, este se quitará para evacuar el agua

almacenada en el remanso de la estructura cuando no se esta utilizando para facilitar su limpieza. Además durante la construcción de la obra puede ser de mucha utilidad, ya que no siempre es posible impedir el paso de algo de agua por el canal.

***Regla limnimetrica graduada:*** La plantilla de esta regla es proporcionada por Winflume, por lo que lo que para su construcción se traslada la escala desde el papel hacia el metal. El material ideal para la regla es el acero esmaltado o platina de aluminio, aunque otra buena opción también puede ser el acero debidamente protegido con pintura anticorrosiva. Finalmente una última opción podría ser pintar directamente la escala sobre la pared del canal.

***Marcación del punto de nivel cero:*** La marcación de este punto debe hacerse con mucho cuidado, ya que una desalineación entre éste y la solera de la sección crítica, introducirá errores en las lecturas de descarga posteriores. Por ello se recomienda el empleo de un nivel para su traslado desde la sección crítica hasta la sección de medición, que como se especifica en el PLANO 1 debe estar a una distancia mínima aguas arriba de un metro, tomados desde el inicio de la rampa de la sección de convergencia.



FIGURA 4.5 .Construcción en marcha de un vertedero de cresta ancha trapezoidal.

#### **4.2.2 Posibles Problemas Técnicos y Mantenimiento.**

En cuanto a los posibles problemas técnicos de la obra de aforo tenemos que después de la construcción se hace necesario tomar en cuenta los siguientes factores:

##### ***Verificación de las dimensiones después de construcción:***

Las dimensiones del vertedero deben ser tomadas nuevamente después de la construcción; si estas nuevas dimensiones difieren en forma significativa con las del diseño original, entonces se hace necesario recalcular con Winflume y generar una nueva tabla de calibración para la descarga. Aunque los vertederos de pared ancha pueden ser recalibrados a través del computador, es preferible que se tenga mucho cuidado durante la construcción para evitar tener que hacer posteriores modificaciones.

***Nivelación de la estructura con respecto al canal existente:***

Cualquier desplazamiento posterior a la construcción de la obra, causará que el punto cero de la escala graduada se desalinee con respecto a al nivel de la sección de control, lo que introducirá errores en la mediciones de la descarga. Para corregir este problema se hace necesaria una recalibración a través del computador. No obstante la mejor alternativa es evitar este problema, para ello la cimentación de la obra debe ser cuidadosamente construida para evitar posibles desplazamientos relativos, verticales o longitudinales, la estructura de aforo y el canal existente

En cuanto al mantenimiento de las obra de aforo:

- Se deberá realizar una limpieza del aforador y del canal cada inicio de periodo de lluvias, sin dañar las paredes ni el lecho de la estructura de aforo.
- De la misma forma deberá hacerse la limpieza de la regleta de medición cuando sea necesario, con herramientas adecuadas, evitando dañar las graduaciones de las mismas.

## CAPITULO 5

### 5. INSTALACION DEL EQUIPO.

Importantes consideraciones deben ser tomadas en cuenta para la instalación del equipo de transmisión de nivel y totalización de caudales en una estación de aforo, como son:

- El numero de partes que constituyen el equipo y su interconexión.
- El establecimiento de un nivel de referencia para el sitio.
- El equipo debe ser accesible todo el tiempo y substancialmente construido para la seguridad y fiabilidad.
- El equipo debe estar protegido contra el medio ambiente y debe tener la capacidad de operar bajo las condiciones ambientales del medio.
- El punto de referencia debe estar debajo del nivel más bajo al caudal mínimo de la corriente o estructura de aforo.
- El instrumento empleado para medir el nivel (caudal) debe tener la capacidad de cubrir todo el rango de variación del nivel de superficie de agua.

- Finalmente debe verificarse que halla en el sitio una fuente de energía de acuerdo con los requerimientos de los equipos.

Procedimientos estandarizados para la operación del equipo deben ser incluidos para verificar la correcta operación del equipo utilizado. Personal encargado de la instalación y de la operación debe seguir las recomendaciones del fabricante para cada instrumento en particular. Estas instrucciones deben colocarse visiblemente dentro de la caja del instrumento o en la guarda.

### **5.1 Forma de Instalación.**

Para la instalación del elemento secundario de la estación de aforo, es decir del sensor de niveles y del equipo totalizador de caudales, la fijación del punto cero debe realizarse con el rebote de las ondas de ultrasonido sobre la superficie del remanso de la estructura, cuando el nivel de agua en la sección de control es cero. Esto se logra cerrando la válvula y la compuerta que descargan los efluentes sobre el canal. Toda esta operación debe realizarse teniendo en cuenta que deben coincidir en todo momento, el nivel de superficie de agua, con la línea de nivel cero de la regla limnimétrica graduada. FIGURA 5.1

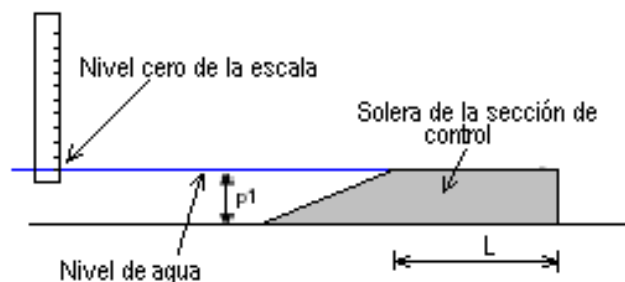


FIGURA 5.1 ESTADO DEL NIVEL DE AGUA AL MOMENTO DE LA CALIBRACION DEL SENSOR DE NIVEL

En cuanto a la calibración del totalizador de caudales, deben fijarse las unidades en que se quieren medir tanto el caudal como el volumen vertido. Además la unidad debe ser alimentada con la ecuación que modela la relación caudal-nivel o en su defecto con una tabla de varios puntos de esta relación.

La fijación del punto cero o punto referente de elevación es una de las tareas más importantes cuando se realiza la calibración de un equipo registrador de niveles en una estructura de aforo. Normalmente una regla calibrada debe ser localizada en un punto lo suficientemente cercano para verificar que la estructura de aforo este operando correctamente. Deben ejecutarse chequeos periódicos del punto de referencia cero, para asegurarse de que en la estructura o soportes del equipo no haya ocurrido algún movimiento.



## **5.2 Operación y Mantenimiento.**

Después de realizar una calibración satisfactoria, la operación y mantenimiento se centrará en verificar la correcta lectura de datos con el equipo. Hay que tener presente que los errores en la lectura de datos están en la mayoría de los casos relacionados a la calibración o movimiento del punto de referencia (errores sistemáticos), por ello toda comprobación debe hacerse comparando con los datos leídos en la regla graduada.

Para alcanzar una operación satisfactoria se dan a continuación un conjunto de instrucciones que deben ser seguidas por el personal responsable del equipo, por ello deben colocarse visiblemente junto a la caja del instrumento.

1. Verificar periódicamente la correcta operación del equipo mediante la comparación del caudal registrado por el equipo totalizador con el que se obtiene de la regla calibrada. Para ello tome la lectura del nivel de agua con la regla calibrada, luego ingrese con este valor a la tabla de calibración CAUDAL – NIVEL (Q-H) que se proporciona en el APÉNDICE.

2. Si existe alguna desviación significativa entre las dos mediciones, verificar la fijación del punto cero en el sensor de nivel.
3. Verifique el estado de las conexiones de los cables de comunicación y alimentación del equipo.
4. Abrir la guarda y limpiar con frecuencia para evitar la acumulación excesiva de humedad y polvo en el equipo, aunque como se puede observar en la hoja de datos de estos, están diseñados para operar en ambiente severos.

# CAPITULO 6

## 6. ANALISIS DE COSTOS.

Para realizar una estimación del costo de la estación de aforo en conjunto, se ha dividido a esta en dos partes:

1. Estructura de aforo propiamente dicha, dispositivo primario, que se muestra en un plano al final de este trabajo.
2. Equipos automáticos para la detección y registro del caudal de forma acumulada, es decir el elemento secundario.

### 6.1 Monto Estructural de la Obra.

Los costos involucrados en la construcción de esta obra, se resumen en la siguiente tabla en que se detallan cada uno de los rubros:

TABLA 6

## COSTOS DE CONSTRUCCION DE LA ESTRUCTURA DE AFORO

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
TRAZADO Y REPLANTEO	m2	12.26	2.20	26.97
EXCAVACION	m3	7.50	4.50	33.75
RELLENO MATERIAL DE MEJORAMIENTO	m3	7.50	12.50	93.75
HORMIGON Fc 240 Kg/Cm2	m3	1.20	250.00	300.00
ACERO DE REFUERZO	Kg	300.00	0.95	285.00
DESALOJO	U	1.00	100.00	100.00
DRENAJE PVC 4"	m	3.30	6.00	19.80
SEGURIDAD INDUSTRIAL		1.00	200.00	200
<b>TOTAL COSTOS</b>				1059.27
<b>SUMAN</b>				1059.27
<b>12 % IVA</b>				127.11
<b>SUMA TOTAL</b>				1186.38

## 6.2 Estimación del costo del equipo.

Esta cantidad se la estima considerando, tanto el costo de los equipos, así como también los costos de instalación y calibración. Estas cantidades se presentan en la siguiente tabla.

**TABLA 7**

### **COSTO DE LOS EQUIPOS ELECTRÓNICOS.**

<b>Descripción</b>	<b>modelo</b>	<b>Costo (\$)</b>
Sensor de nivel ultrasónico.	872FM	1.848,00
Totalizador digital.	668	2.000,00
Instalación.		1.000,00
		4.848,00

Finalmente, la inversión necesaria para la implementación del proyecto es de \$ 6.034,38

### **6.3 Costo de Operación y Mantenimiento.**

El costo de operación y mantenimiento de la estación de aforo en conjunto es mínima, ya que se considera que por su sencillez, no hace falta una persona que se dedique exclusivamente a esta labor. Así mismo el consumo de energía eléctrica es bajo y la limpieza que se deberá hacer por lo menos dos veces al año, al inicio y final de la estación lluviosa, puede ser incluida dentro del presupuesto del mantenimiento de canales.

El rubro más significativo se considera que será el servicio técnico de un consultor que se encargue de monitorear por lo menos una vez al año el estado de operación de la estación de aforo en conjunto.

# CAPITULO 7

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

**Conclusiones.\_** En base a los resultados alcanzados en los capítulos anteriores, se presentan las siguientes conclusiones:

- Se ha logrado realizar un inventario de los aforadores más conocidos, comparar las ventajas y desventajas de estos e identificar el más adecuado para su utilización en el área de aplicación.
- Después de analizar algunos lugares a lo largo del canal drenaje de efluentes, finalmente se pudo seleccionar un punto apropiado para la instalación de la estructura de aforo.
- Se ha llegado a identificar las características físicas e hidráulicas del punto de aforo.
- Se ha podido definir que la estructura de aforo más adecuada en el sistema de drenaje analizado, es el vertedero de cresta ancha o RBC. Este aforador se acomoda a las exigencias del proyecto y a las condiciones del lugar.

- Se diseñó el aforador de cresta ancha para el punto de aforo seleccionado. Además se hizo el diseño del reforzamiento con hormigón armado de la solera de la estructura.
- Se consiguió calibrar matemáticamente el aforador diseñado con ayuda del programa “Winflume versión 1.05”
- Se ha elaborado una tabla de valores de caudal ( $Q$ ) vs. altura de carga ( $H$ ), para la obra de medición.
- Aunque la totalidad de la teoría empleada en este proyecto corresponde a la hidráulica de medición en canales abiertos utilizada en los sistemas de irrigación, su aplicación en el campo de la medición de caudales de efluentes industriales es totalmente válida, ya que los principios físicos son los mismos, aunque las aplicaciones sean diferentes.
- La medición del caudal de efluentes de REE, permitirá hacer una evaluación constante respecto a la eficiencia con que se maneja el recurso hídrico, no tanto por el costo del tratamiento del agua, sino por el costo ambiental implicado.



- El campo de aplicación de las estructuras de aforo, y por ende de los equipos electrónicos totalizadores de caudal tienen gran proyección en el área de la conservación ambiental, ya que permiten realizar el control del vertido de efluentes a corrientes superficiales, en especial cuando estas corrientes reciben la descarga de un numero elevado de industrias, como ocurre en los parques y zonas industriales. La totalización de los caudales permitirá conocer el aporte de cada uno de los usuarios a la contaminación del río, facilitando de esta manera el cobro de tasas de recargo por volumen vertido. Desde este punto de vista, la REE se estaría adelantando a la legislación ambiental vigente en nuestro país, ya que en la actualidad no existe ningún artículo que regule el vertido de efluentes a través del caudal.

**Recomendaciones.\_** Las siguientes recomendaciones están dirigidas a la construcción del aforador diseñado en el presente trabajo de investigación.

En cuanto a la construcción del aforador:

- El punto exacto en donde debe comenzar a construirse el vertedero, es a partir de una distancia de 2 m aguas arriba de la escalera de hormigón existente en el canal, la cual se considera una distancia

adecuada, tanto para evitar perturbaciones, como para aprovechar esta escalera existente en el lugar.

- La construcción del aforador deberá obedecer en la medida de lo posible al diseño. Especialmente las dimensiones del interior de la sección rectangular que forma la garganta, las exteriores no necesitan demasiada precisión, ya que las dimensiones del canal existente no son totalmente uniformes.
- Las regletas de medición deberán ser construidas con plancha metálica de acero esmaltado o platina de aluminio, adoptando las divisiones de caudal a cada nivel de acuerdo a los valores mostrados en el APÉNDICE O.
- Aunque no concierne estrictamente a este trabajo, también se recomienda cambiar por una de mayor diámetro a la alcantarilla que interconecta los canales de drenaje; ya que las dimensiones actuales de esta, no permiten desalojar una creciente después de una lluvia de alta intensidad.

En cuanto al mantenimiento de la estructura de aforo:

- Se deberá realizar una limpieza de los aforadores cada inicio de periodo de lluvias, sin dañar las paredes ni el lecho de las estructuras de aforo.
- De la misma forma deberá hacerse la limpieza de las regletas de medición cuando sea necesario, con herramientas adecuadas, evitando dañar las graduaciones de las mismas.

En cuanto a la forma de operar las obra de medición:

- La lectura de la regleta dará la altura de carga para un caudal determinado, el caudal se obtendrá mediante la relación altura – caudal que se proporciona en este trabajo, tanto en forma de tabla como de gráfica.
- Por comodidad se ha elegido como unidad para el caudal al litro por segundo (l/s).
- Se recomienda verificar constantemente el buen funcionamiento del dispositivo de medición secundario (equipo automático transmisor y

totalizador de caudal), y si existieran datos erróneos, luego de una comparación con datos anteriores, se necesitará una nueva calibración.

- Durante la caída de una lluvia, el agua que pasa por el aforador experimentará un incremento de caudal debido a la escorrentía, esto ya ha sido previsto en el diseño (capítulo 4). Esta situación debe ser considerada a la hora de elaborar un reporte de volumen vertido.
- Si es necesario, en un futuro se podrá diseñar un sistema de comunicación de datos entre el equipo totalizador de caudales y una PC, con el objeto de facilitar la elaboración de reportes, tratamiento de datos y monitoreo remoto del vertido.



**CIB-ESPOL**

# **APÉNDICES**

## APÉNDICE A

### CUMPLIMIENTO DE RECOMENDACIONES DE AUDITORIA AMBIENTAL (JUNIO 2004)

1	Compra de Equipos, instalación y Operación de Estación Meteorológica	Operación de Estación Meteorológica	4 500.00	Solicitud d compra N° E-20040223. Adjudicado a MACROIMPORT. Tiempo estimado de entrega agosto 30/2004 Responsable: ABE-PSI
2	Instalar los puertos de muestreo y acceso en cada una de las fuentes fijas de Refinería Esmeraldas.	Instalación de los puertos de acuerdo a especificaciones elaboradas por técnicos de la Universidad Central. Contrato 2003-010.	Se ejecutará con los recursos de REE	La Unidad Técnica no ha podido instalar los puertos de monitoreo programado debido al descaste de las chapas en las chimeneas de fuentes fijas en Planta de Proceso. Responsable: Unidad Técnica .
3	Compra de equipos para análisis de Bario, Vanadio e hidrocarburos aromáticos policíclicos.	Determinar la carga contaminante de los diferentes efluentes.	HPLC: 90 000.00 VOCS: 100 000.00	Concurso declarado desierto. CONCAL revisa nuevas especificaciones para reiniciar concurso S/C E200310 y S/C E20031051. Responsable: CONCAL- Matriz Quito.
4	Construir medidor de flujo (tipo vertedero) a la salida de piscina de estabilización.	Determinar exactamente los volúmenes de agua tratada.hacia la fuente receptora.	Pendiente	Las alternativas para medición de flujo se analizan con egresado de Ing. Mecánica ESPOL (Fernando Gutiérrez)
5	Reconstrucción del canal de descarga junto a Termoesmeraldas	Impedir el deterioro del canal y evitar filtraciones al suelo	\$ 11 000.00 (Consultoría)	Se inicia proceso de invitación a presentar ofertas para contratar el estudio de consultoría, Autorizado por SPG. Memorando N° 383-REE-SPG-PSI-2004 del 20/04/04 Responsable: PSI



**CIB-ESPOL**

6	Readecuación de la sala de recuperación y la dotación de equipamiento (2 máquinas de respiración y cirugía menor).	Proveer al dispensario médico de equipamiento para la mejor atención a los trabajadores.	Obra física: 47 000.00  Equipamiento: 26 000.00	Se envió a PIN Matriz proyecto para readecuación: 1118-REE-SPG-ADM-BS-2003, Readecuación de la sala de quemados de REE., Memorando N° 1075 -REE-SPG-ADM-BS-2003, Transferencia de Partida Presupuestaria, remodelación del dispensario médico de REE.  Pendiente.
<b>GESTIÓN DE RESIDUOS</b>				
7	Análisis físico-químicos de lodos de tanques y recipientes (pH, TPH, conductividad, Zn, Cu, Ni, adición máx. 30 años de Cr. Cd. Pb, Hg, Mo, As).	Realizar análisis de lodos de tanques de acuerdo al plan de mantenimiento de los equipos.	Con recursos de REE	En ejecución los parámetros pH, TPH y conductividad, mediante espectrofotómetro infrarrojo (FTIR), SHIMATZU. Los análisis de metales pesados se realizará con la unidad HPLC punto 4.
8	Análisis físico-químico de suelos (pH, CFU/GRAMO, Humedad, Temperatura, nutrientes, Textura)	Caracterización de suelos en puntos específicos de REE.	Con recursos de REE	Se optimizará procedimientos de muestreos con la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Responsable: LCE y PSI.
9	Construcción de cerramiento y piscinas para el confinamiento final del residuos tóxicos generados por REE.	Disponer de manera controlada y ordenada los diferentes tipos de residuos tóxicos de REE.	\$ 360 000.00	En proceso de contrataciones. Procuraduría Responsable: PIN Matriz.

## APÉNDICE B

### REFORMAS DE LA AGENCIA CATALANA DEL AGUA A LA NORMATIVA AMBIENTAL, EN DONDE SE INCLUYE LA IMPLEMENTACION DE CANALES CON TOTALIZADORES (LITERAL d)

#### REFORMA DEL CANON DEL AGUA PARA 2003

La Agència Catalana de l'Aigua, ha utilizado la *Llei de mesures fiscals i administratives*, que acompaña a la *Llei de Pressupostos de la Generalitat de Catalunya para 2003*, para modificar el *Canon de l'Aigua* en su estructura, y aumentar los precios de los parámetros, respectivamente. La combinación de los dos cambios supone **aumentos alrededor del 25% de la cuota del Canon para este año.**

En la *Ley de Presupuestos*<sup>1</sup> se actualizan los valores base por volumen para usos industriales, y el valor de cada unidad de parametro de contaminación del *Canon de l'Aigua*, a efectos de la determinación del tipo de gravamen específico para el caso de tarifa individualizada. Tal como se muestra en la tabla adjunta, la variación de la tarifa industrial específica ha supuesto un 25% de incremento.

Concepto		2002	2003	Tasa de Var. %
Doméstica	euros/m3	0.2775	0.2928	5.51
Industrial general	euros/m3	0.0879	0.0927	5.46
<b>Industrial específica</b>	euros/m3	0.2906	0.3633	<b>25,02</b>
Materias en suspensión	euros/Kg	0.2661	0.2807	5.49
Materias oxidables	euros/Kg	0.5322	0.5615	5.51
Sales solubles	euros/Sm3/cm	4.2579	4.4921	5.50
Materias inhibidoras	euros/Kequitox	5.3223	5.6150	5.50
Nitrógeno	euros/Kg	0.3407	0.3594	5.49
Fósforo	euros/Kg	0.6814	0.7189	5.50

(Desaparece el Incremento de Temperatura. Art. 18.2 *Llei 31/2002*)



CIB-ESPOL

En la *Ley de acompañamiento*<sup>2</sup>, se modifica la *Llei 6/1999, de 12 de juliol, d'ordenació, gestió i tributació de l'aigua (LOGTA)*. Entre otros, el cambio más significativo es el que hace referencia al Art. 47 de la LOGTA, en el que se definen los elementos que configuran el calculo de la tarifa individualizada.

A continuación se detallan las novedades más importantes (*Art.18, de la Llei 31/2002*):

#### a) Coeficiente de Salinidad

Los vertidos realizados en aguas superficiales, con caudales superiores a 100 metros cúbicos por segundo, en épocas de estiaje, se afectarán de un coeficiente de salinidad para el parametro de las sales solubles igual a 0,2.

(*Antes*) Coeficiente 0,1. (Art. 47.7. LOGTA)

#### b) Coeficiente de Vertido a Sistema:

En relación a vertidos efectuados a redes de alcantarillado y emisarios públicos que pertenezcan a sistemas públicos de saneamiento, el tipo de gravamen específico, determinado en función de la carga contaminante vertida, se afecta de los coeficientes siguientes:

- **Coeficiente 1,5**, siempre que este tipo sea inferior al previsto, con carácter general, para los usos industriales. El tipo resultante no puede superar al previsto para los usos industriales generales establecidos en el Art. 47.1 (LOGTA)

(*Antes*) Se aplicaba el coeficiente 1,5, si el tipo resultante no superaba al previsto para los usos domésticos del municipio. (Art. 47.7. LOGTA)

- **Coeficiente 1,25**, siempre que el tipo de gravamen específico individualizado sea superior al previsto, con carácter general, para los usos industriales.

<sup>1</sup> (*Llei 30/2002, de Pressupostos de la Generalitat de Catalunya para 2003*)

<sup>2</sup> (*Llei 31/2002, de mesures fiscals i administratives*)



*(Antes)* En el caso de que el tipo previsto superase los usos domésticos, no se aplicaba ningún coeficiente. (Art. 47.7. LOGTA)

**c) Coeficiente de Regulación.**

Se suprime

**d) Coeficiente Corrector de Volumen.**

Se añade un nuevo condicionante para que una instalación pueda aplicarse este coeficiente.

Se deberán instalar canales con totalizadores en todos los puntos del vertido, que permitan la medida y control de forma acumulada de los caudales vertidos. (Art.18.11. Ley 31/2002)

*(Antes)* Se deberán instalar canales en todos los puntos del vertido, que permitan la medida y control de los caudales vertidos. (Anexo 3 LOGTA)

**e) Coeficiente de Dilución.**

Se aplica a los emisarios submarinos procedentes de instalaciones de saneamiento privadas. (Baremo del coeficiente de dilución, en función de los valores de dilución inicial de los emisarios submarinos). (Art.18.13. Ley 31/2002)

Valor de dilución inicial	Coeficiente por dilución	
	1999 (LOGTA)	2003
11.000 o más	0,55	0,60
Entre 7.000 y menos de 11.000	0,60	0,65
Entre 4.000 y menos de 7.000	0,65	0,70
Entre 2.000 y menos de 4.000	0,70	0,75
Entre 1.000 y menos de 2.000	0,75	0,80
Entre 100 y menos de 1.000	0,80	0,85
Menos de 100	1	1

**Efectos sobre las empresas catalanas:**

Esta reforma afecta a todas las empresas industriales de Catalunya en mayor o menor medida

El cambio en el Coeficiente de Vertido a Sistema es el que mas impacto tendra en valor absoluto. Afectara a mas de 2.000 empresas conectadas a sistemas públicos de saneamiento. En este sentido, penaliza especialmente a las actividades con mayor nivel de contaminación, dentro de los limites autorizados. Llegando a aumentar el gravamen, en este caso, un 25% sobre el precio del pasado ejercicio.

La incorporacion de esta reforma en la Ley de Acompañamiento se ha realizado sin la consulta previa a las partes interesadas.

Dejando a parte el hecho de que los argumentos de la Administración para justificar un cambio como el descrito sean sólidos o no, La reforma de una figura impositiva, como el Canon del Agua, que afecta de forma extensiva al tejido industrial catalán, y que supone un incremento tan significativo en un coste de producción como es el agua, debería haberse realizado a través de las Leyes sectoriales que regulan este tipo de figuras e intentando buscar el consenso, en la medida de lo posible, entre los agentes implicados. Máxime en un contexto de inflación y ralentización económica, con especial incidencia en sectores productivos intensivos en la utilización del factor agua.

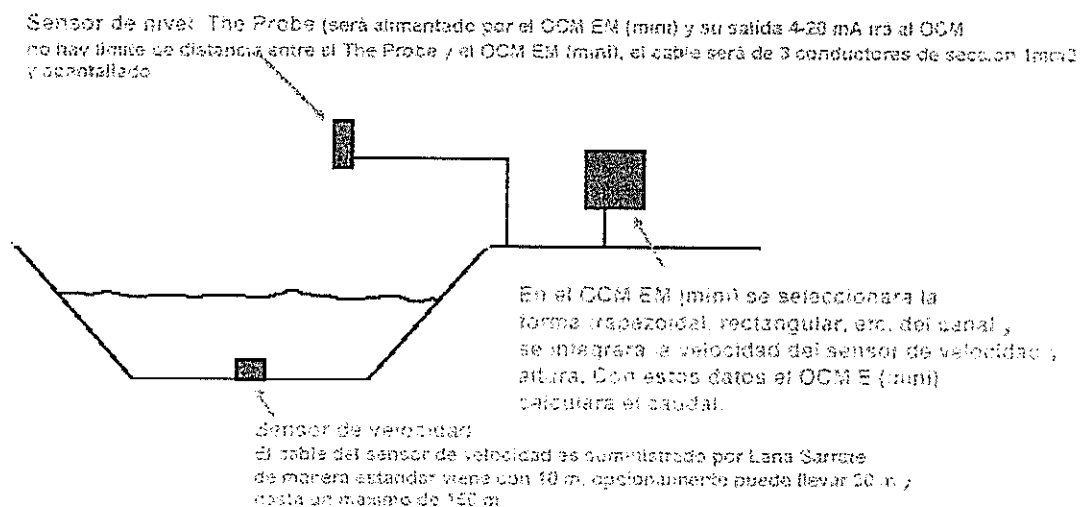
*Para más información:* Alba Cabañas

Tel. 93 484 12 00

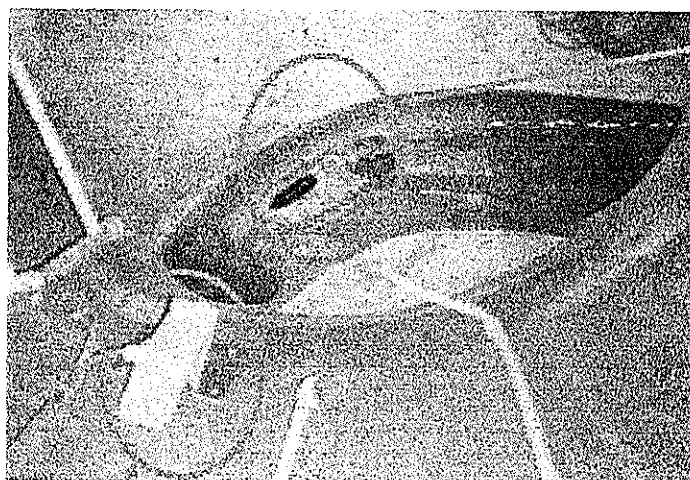
## APÉNDICE C

### EQUIPO TOTALIZADOR DE CAUDAL POR MEDIO DE LA MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE FLUJO

#### Croquis en canal trapezoidal



#### Ejemplo



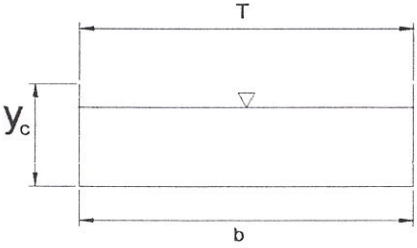
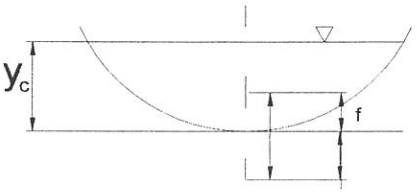
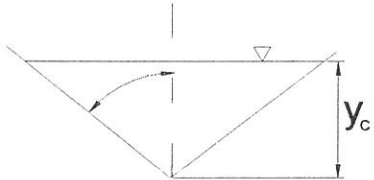
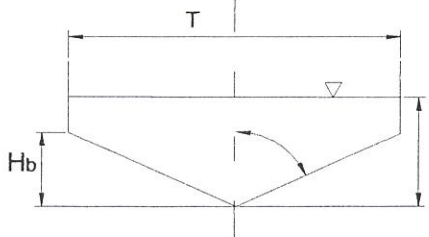
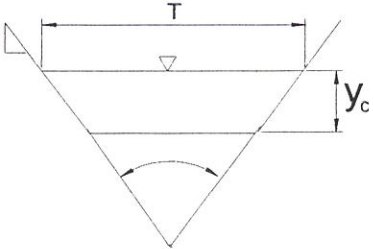
Sensor de velocidad ofarrado



Sensor de nivel ofarrado. The Probe, será alimentado por el OCM E (mini) y su salida 4-20 mA irá al OCM E (mini)

## APÉNDICE D

### ECUACION DE DESCARGA PARA VERTEDEROS DE CRESTA ANCHA Y CRESTA DELGADA.

Definición esquemática de La sección de control	Tipo	Ecuación de descarga	Ec. #
	<u>Rectangular</u>	Cresta Ancha $Q = C_D C_v^{2/3} (2/3 g)^{1/2} T h_1^{3/2}$	(2.12.1)
		Cresta Delgada $Q = C e^{2/3} (2 g)^{1/2} b h_1^{3/2}$	(2.12.2)
	<u>Parabólico</u>	Cresta Ancha $Q = C_D C_v (3/4 f g)^{1/2} h_1^2$	(2.12.3)
		Cresta Delgada $Q = C e^{1/2} \pi (f g)^{1/2} h_1^2$	(2.12.4)
	<u>Triangular</u>	Cresta Ancha $Q = C_D C_v^{16/25} (2/5 g)^{1/2} \tan(\theta/2) h_1^{5/2}$	(2.12.5)
		Cresta Delgada $Q = C e^{8/15} (2 g)^{1/2} \tan(\theta/2) h_1^{5/2}$	(2.12.6)
	<u>Compuesta</u>	Cresta Ancha $H_1 \leq 1.25 H_b$ use Ec.(2. ) $H_1 \geq 1.25 H_b$ $Q = C_D C_v T^{2/3} (2/3 g)^{1/2} (h_1 - 1/2 H_b)$	(2.12.7)
		Cresta Delgada $H_1 \leq H_b$ use Ec.(2. ) $H_1 \geq H_b$ $Q = C e^{4/15} (2 g)^{1/2} T / H_b [h_1^{2.5} (h_1 - H_b)^{2.5}]$	(2.12.8)
	<u>Trapezoidal</u>	Cresta Ancha $Q = C_D (T y_c + m y_c^2) [2 g (H_1 - y_c)]^{1/2}$	(2.12.9)
		Cresta Delgada $Q = C e^{2/3} (2 g)^{1/2} [b + 4/5 h_1 \tan(\theta/2)] h_1^{1.5}$	(2.12.10)

## APÉNDICE E

### CAUDALES POR ENCIMA DE UN VERTEDERO DE PARED DELGADA RECTANGULAR CON CONTRACCIONES FINALES

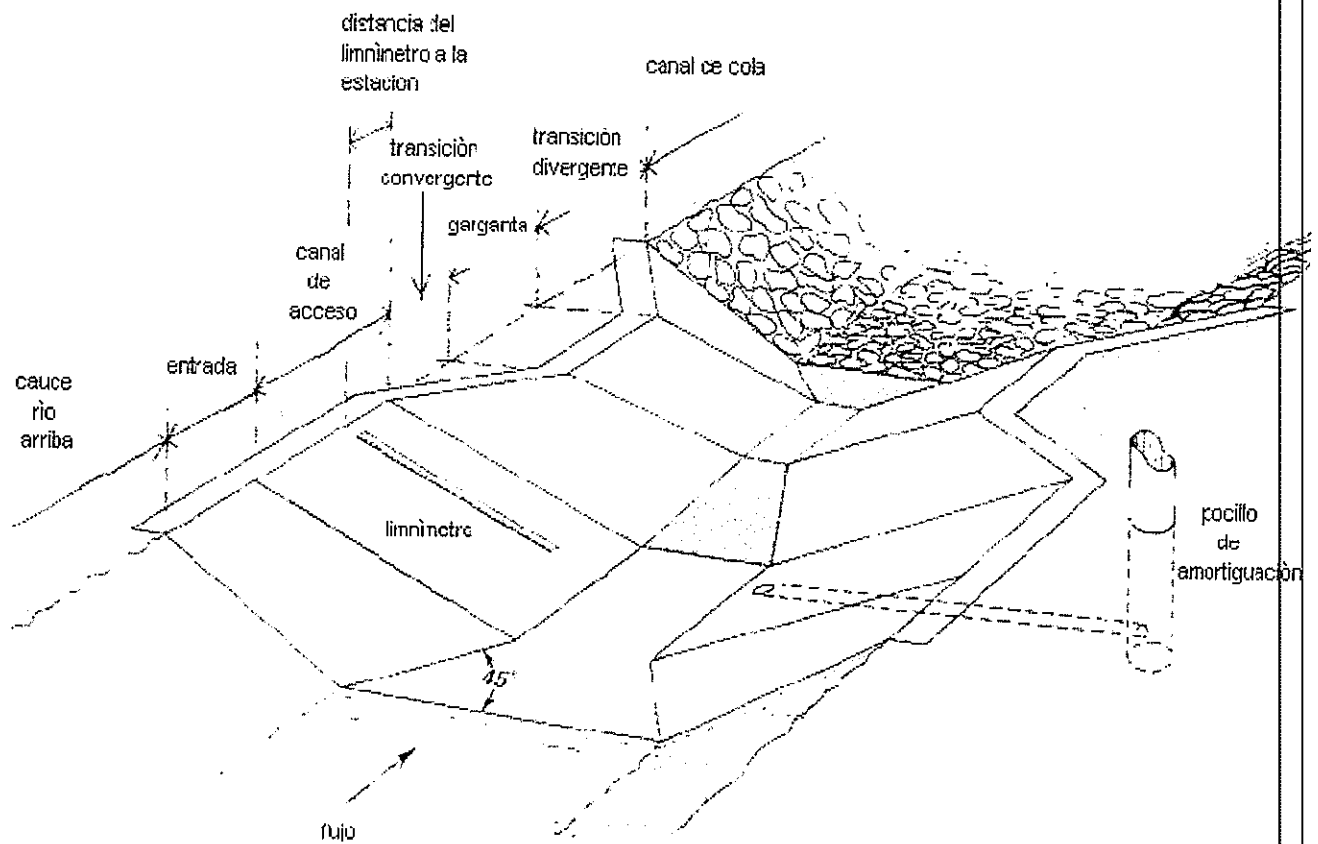
Carga (mm)	Caudal (l/s)/m	Carga (mm)	Caudal (l/s)/m	Carga (mm)	Caudal (l/s)/m
30	9,5	150	103,8	270	244
40	14,6	160	114	280	257,5
50	20,4	170	124,5	290	271
60	26,7	180	136	300	284
70	33,6	190	146	310	298
80	40,9	200	158,5	320	311,5
90	48,9	210	169,5	330	326
100	57	220	181,5	340	340
110	65,6	230	193,5	350	354
120	74,7	240	205,5	360	368,5
130	84	250	218,5	370	383,5
140	93,7	260	231	380	398



**CIB-ESPOL**

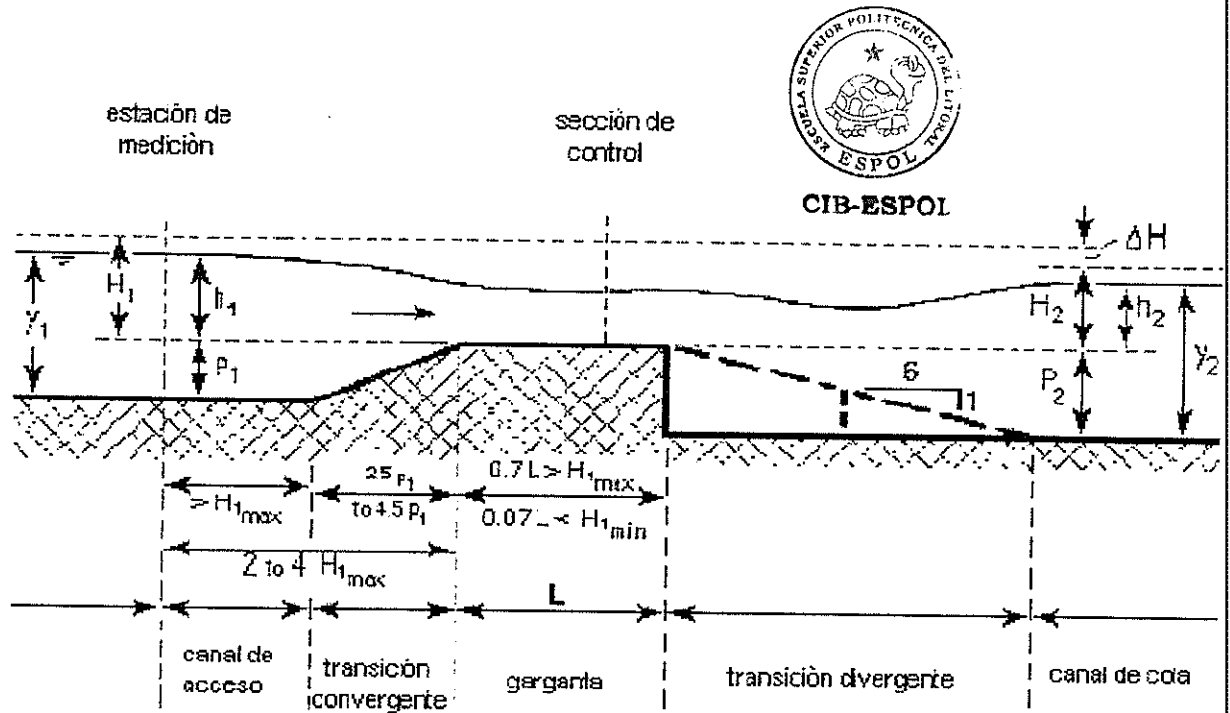
## APÉNDICE F

### PARTES PRINCIPALES DE UNA OBRA DE AFORO PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES A RÉGIMEN CRÍTICO.



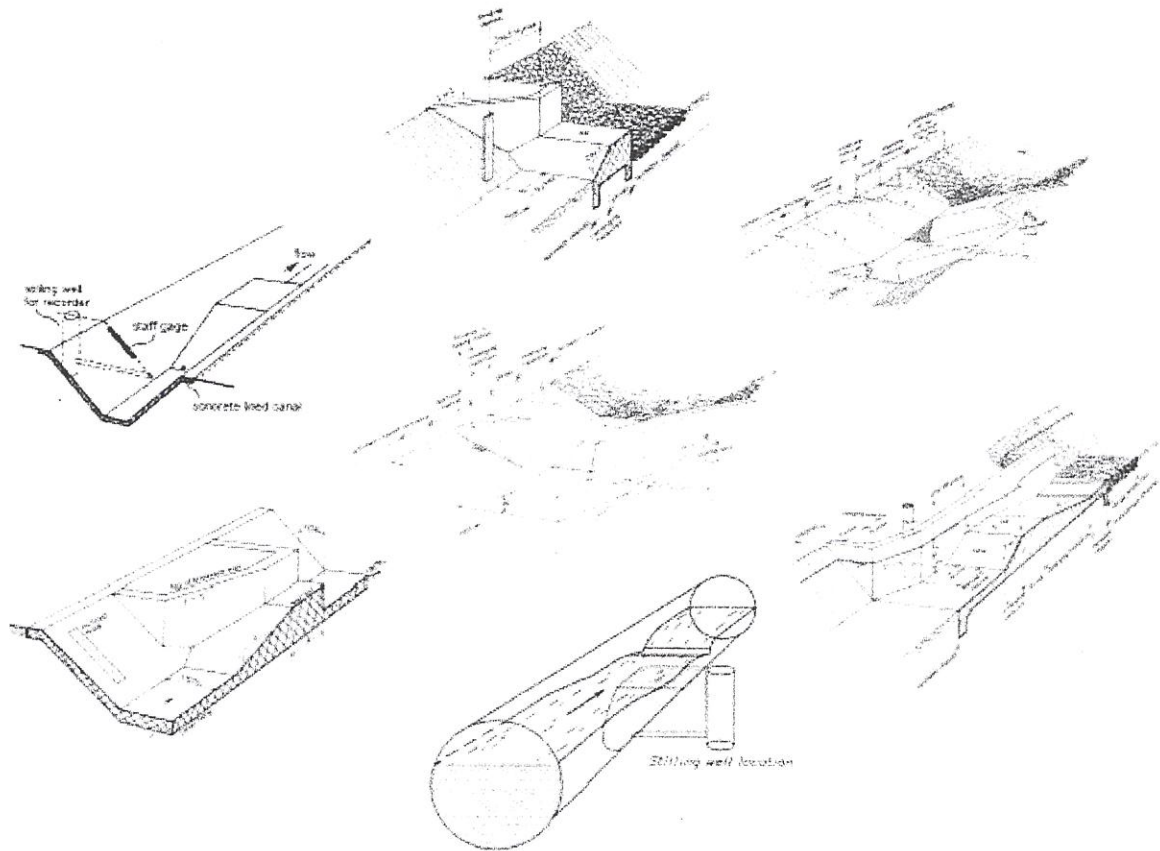
## APÉNDICE G

### ESQUEMA DE LOS AFORADORES DE GARGANTA LARGA



## APÉNDICE H

### VARIAS CONFIGURACIONES DE VERTEDEROS Y AFORADORES QUE REUNEN LOS REQUERIMIENTOS PARA EL ANALISIS COMO AFORADORES DE GARGANTA LARGA





VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS ESTRUCTURAS DE AFORO



CIB-ESPOL

TIPO DE OBRA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Vertederos de pared delgada:</p> <p>Rectangular, Triangular, Trapezoidal o Cipollety</p>	<p>-La construcción de vertederos es por lo general de bajo costo.</p> <p>-Su construcción es sencilla, se lo hace con material delgado o planchas de metal.</p> <p>-Los usuarios del agua pueden verificar la medición del caudal.</p>	<p>-No debe usarse para mediciones de alta precisión.</p> <p>-Se recomienda su uso en condiciones de velocidad de acceso muy grande, haciendo correcciones por velocidad.</p> <p>-Para su buen funcionamiento se requiere de una calibración en laboratorio.</p> <p>-Los cuerpos flotantes no pueden pasar con facilidad y pueden causar daños que afecten la exactitud.</p> <p>-La medición es imposible cuando el nivel de aguas abajo se eleva por encima de la cresta del vertedero.</p> <p>-La pérdida de carga es considerable.</p>
<p>Vertederos de cresta ancha:</p>	<p>-La lectura del caudal es fácil.</p> <p>-La construcción es simple.</p> <p>-Los cuerpos sólidos pasan sin problema</p> <p>-La operación es fácil.</p> <p>-Son los más económicos para mediciones de flujo exactas.</p> <p>-Requiere una pequeña caída de la superficie libre del agua a través de la instalación.</p> <p>-La forma hidráulica es flexible y simple porque pueden adaptarse a cualquier forma de canales, sin necesidad de reconstruir los canales.</p> <p>-Tiene mínima profundidad de carga, comparada con los aforadores de garganta larga.</p>	<p>-El flujo debe ser libre (modular) para una medida más exacta.</p> <p>-La utilización de vertederos de profundidad crítica no es recomendable bajo condiciones de flujo no libre (sumergido).</p> <p>-Si el aforador no es construido con las dimensiones exactas, entonces será necesaria una calibración.</p>



<p>Medidores a régimen crítico: Aforador Parshall, Aforador sin cuello, y Aforador de garganta larga</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Permite medir con precisión tanto caudales pequeños como medianos y grandes.</li> <li>-Se mantiene libre de obstrucciones gracias a su geometría y la velocidad en la garganta.</li> <li>-El gasto no está influenciado por la velocidad de llegada.</li> <li>-Las pérdidas de carga son insignificantes frente a otras estructuras</li> <li>-Su uso está recomendado tanto para el aforo de canales de riego, canales de drenaje, como de ríos pequeños.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Son más caros en su construcción que los vertederos.</li> <li>-No pueden ser usados en lugares cercanos a las derivaciones.</li> <li>-El flujo de entrada debe ser uniforme y la superficie del agua relativamente suave.</li> <li>-Sus mediciones son satisfactorias solo si la construcción es cuidadosa y exacta.</li> <li>-Si no se construye con las dimensiones exactas la tabla de magnitudes no es confiable.</li> <li>-Los pequeños aforadores requieren una pequeña pérdida de carga para la medición de flujo libre, aunque las calibraciones de flujo sumergido son confiables no es recomendable diseñar aforadores para flujo no modular.</li> </ul>
--	--	--

## APÉNDICE J

### ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS RECOMENDADOS



#### OPEN CHANNEL FLOW TRANSMITTER MODEL 872FM 2-WIRE 4-20mA WITH INTEGRAL DISPLAY MODEL 671FM 2-WIRE 4-20mA WITH REMOTE CALIBRATION FIELD PROVEN ULTRASONIC MEASURING TECHNIQUES

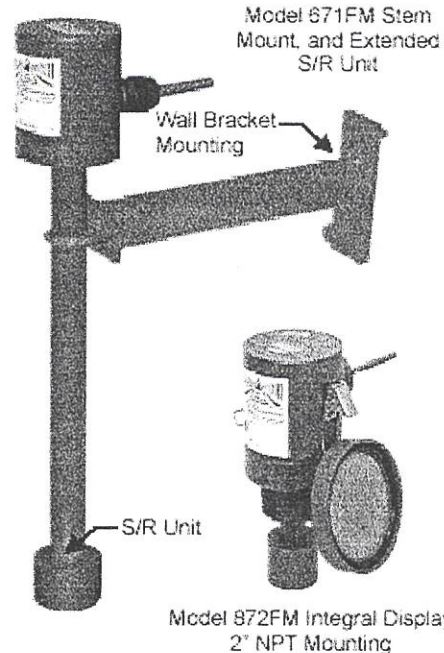
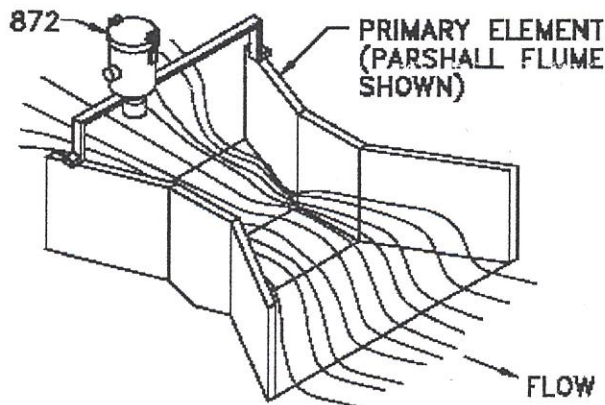
##### FEATURES

- Versatile — Measures Water, Sewage, and Slurries
- Submersible to 100 Feet (30M); Gas-tight
- Improved Personnel Safety for Hazardous Places such as Sewers, Pump Pits, Covered Lagoons, Etc.
- Remote Configuration and Calibration
- Suitable for Most Flumes, and Weirs, also Custom Linearization to User Supplied Tables.
- Intrinsically Safe Classification Improves Safety and Lowers Cost of Installation and Operation

##### APPLICATION

The Models 872FM AND 671FM are ultrasonic level sensing devices used to transmit the flow rate of a liquid in an open channel.

The unit is positioned over the surface of the liquid upstream from a measuring weir or flume. A series of high frequency sound waves are generated during the "send" portion of the cycle. The sound waves travel through the air space between the face of the Sender/Receiver (S/R) unit and the liquid surface. The sound waves strike the liquid surface, are reflected, travel back to the S/R unit, and are detected during the "receive" portion of the cycle. The time elapsing between "send" and "receive" is measured and corrected for speed of sound variations due to temperature, and is used by the instrument to calculate the crest level. The unit produces a 4-20mA signal that is linearly proportional to flow rate.



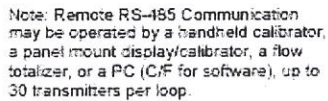
##### BASIC SPECIFICATIONS

Measurement Range: 1 to 8 feet (30 to 250 cm)  
Beam Angle:  $\pm 6^\circ$  at the 3 dB down boundary  
Output: 4-20 mA analog, also RS485 on remoted unit  
Built-in Temperature Compensation: Yes  
Accuracy: Better than 0.25% of maximum range  
Supply Voltage: 11-30 VDC  
Ambient Temperature:  $-40$  to  $+140^\circ\text{F}$  ( $-40$  to  $+60^\circ\text{C}$ )  
Housing: 4X Hoseproof and 6 Submersible  
Wiring: Robust cable with a tough rubber jacket;  
10 ft (3 M) basic, longer lengths optional.  
Calibration: Integral keypad (Model 872FM)  
remote via RS485 (Model 671FM)  
Mounting Connection: NPT, Flange, or Stem  
Materials: PVC and 300 S.S.  
Typical Flow Elements:  
Parshall and Palmer-Bowlius flumes  
Rectangular, V-Notch and Cipolletti Weirs  
OPTIONAL:  
Intrinsically Safe: CSA (CANADA), NRTL/C (USA)  
Class 1, Division 1 & 2, Groups ABCD  
Linearization: To fit non-standard elements  
Reduced Head Room: To 4" (100mm)  
Ranges: Up to 50 feet (15M)

**DELTA CONTROLS Corporation**



BASIC TYPE	TRANSMITTER MOUNTING	CABLE LENGTH	OPTIONS
---------------	-------------------------	-----------------	---------

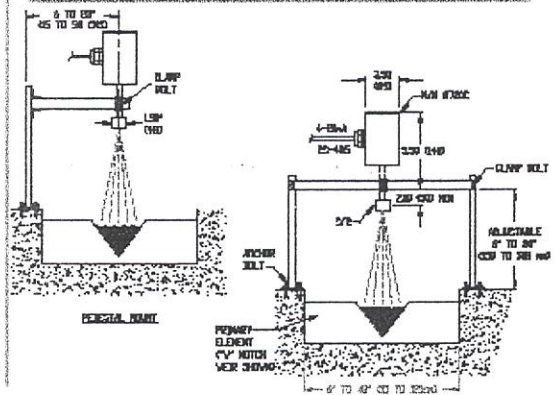
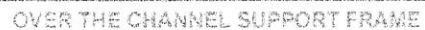


M/N	DESCRIPTION
AA	None
IS	Intrinsically Safe (872FM only)
*ACF	Frame For Across The Channel Instrument Mounting
*PED	Pedestal Over Channel Mount
*WMB	Mounting Bracket for Wall Or Ledge
*EL	Extended Sensor Insertion
CC	3/4" NPT Conduit Connection Hub
JB	Gasketed Junction Box With T/S And RJ-11 Receptacle, 2 Each 1/2" Hubs, Use With Model 824 Handheld
CET	Linearization Curve For Other Primary Elements
ZZ	Other Requirements

## REMOTE CONFIGURATION INTERFACE

INTEGRAL KEYPAD/DISPLAY

The diagram shows a circular control panel labeled "DELTA CONTROLS CONSOLE" at the top. In the center is a rectangular display showing "Level" and "12.34". To the left of the display is a label "Echo Icon" with a line pointing to a small icon. To the right is a label "Crest Height Reading Shown In Setup Mode" with a line pointing to the "12.34" value. Below the display are four icons: a circle with a horizontal line, a square with a horizontal line, an inverted triangle, and a triangle with a circle inside.



CO-3772A

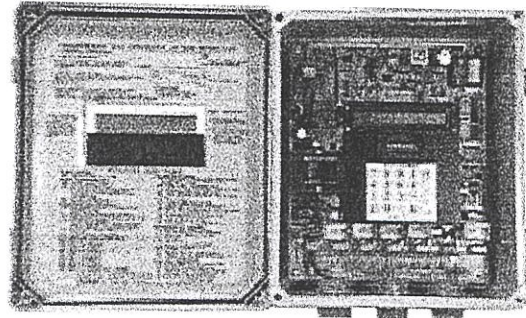
The most recent version of this document is available at <http://www.cdcnaacp.com/00-37772.pdf>

# OPEN CHANNEL FLOW METER MODEL 668 FLOW METER

TS 668

## FEATURES

- DUAL 4-20 mA INPUTS ACCEPT A WIDE VARIETY OF OPEN CHANNEL FLOW TRANSMITTERS USING PRESSURE, RF, AND ULTRASONIC SENSORS.
- SUBMERGED FLOW CAPABILITY
- BUILT-IN KEYPAD FOR EASY FIELD CALIBRATION.
- SIXTEEN CHARACTER ALPHANUMERIC DISPLAY.
- EIGHT DIGIT NON-RESET TOTALIZER.
- SAMPLER PACER AND ALARM RELAYS.
- INTEGRAL RS-232 COMMUNICATIONS PORT.
- STORED EQUATIONS FOR MOST FLUMES AND WEIRS; ALSO CUSTOM CURVES.
- OVERRANGE FEATURE-TOTALIZATION CONTINUES AT FLOW RATES GREATER THAN CALIBRATED MAXIMUM RATE (UP TO ANY PRESET LIMIT).
- MEMORY IS PROTECTED FOR OVER 5 YEARS FOLLOWING LOSS OF SUPPLY POWER.
- PROGRAMMABLE ACCESS LOCKOUT FUNCTION.
- SELF-DIAGNOSTIC TESTS & PROTECTION.



Model 668 Open Channel Flow Meter



R.F. Probe



Head Pressure



Ultrasonic

Works With A Variety Of Level Transmitters

## OPERATING PRINCIPLE

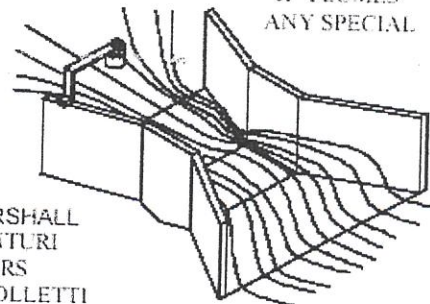
The 668 accepts 4-20mA signals representing head or level in the flume or weir primary element. The signals can come from any loop powered or 24vdc powered level transmitter. The level information is applied to any of a number of stored equations to calculate flow rate. A second 4-20mA input is provided for an optional second transmitter that is placed downstream of the flume or weir to calculate flow under submerged conditions.

## SIGNALS AND OUTPUTS

A 9-digit LCD display showing flow rate or accumulated flow quantity (resetable) is included. An isolated 4-20 MADC analog signal proportional to flow rate and an RS-232 communications port is standard. A 10 amp SPDT relay contacts are provided and can be used for alarm and/or control functions. Relays can be programmed to drive a remote electromechanical totalizer, a loss-of-echo alarm, a high flow rate alarm, a flood alarm, and other functions. An optional 8-digit electromechanical totalizer that accumulates flow in gallons or other engineering units is available. Input signals are internally scaled to the appropriate range that is to flow through the primary element.

## PRIMARY ELEMENTS

PALMER-BOWLUS  
LEOPOLD-LAGCO  
MANNING  
FORMULA  
"H" FLUMES  
ANY SPECIAL



PARSHALL  
VENTURI  
WEIRS  
CIPOLLETTI  
KENNISON NOZZLE

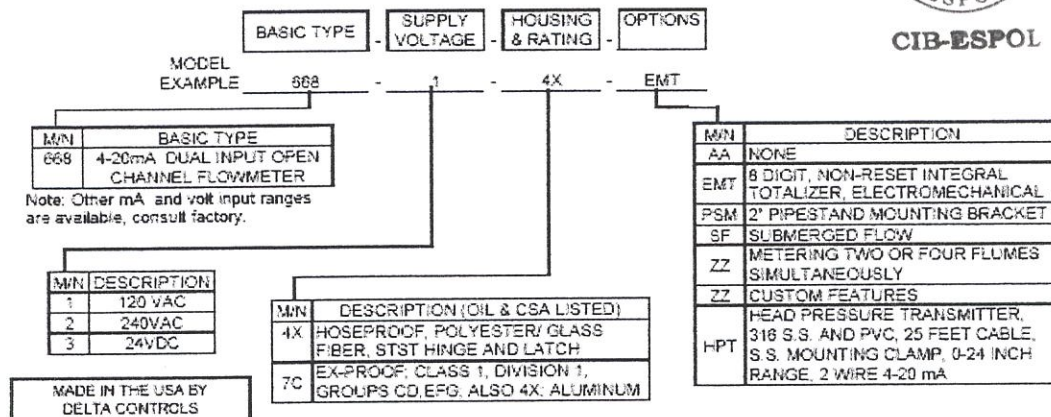
**DELTA CONTROLS Corporation**





CIB-ESPOL

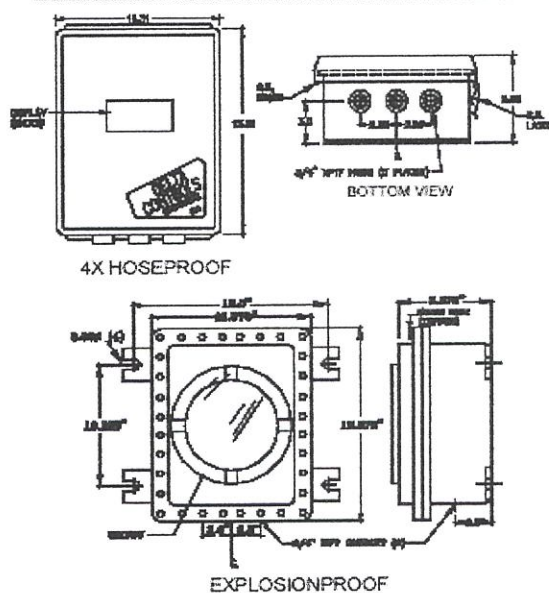
## MODEL NUMBERING SYSTEM



### SPECIFICATIONS

**GENERAL TYPE:** Microprocessor based.  
**POWER REQUIREMENTS:** 120 or 240VAC, 24VDC  
**AMBIENT TEMPERATURE RANGE:** -20° to 160°F without heater.  
**ANALOG INPUT:** 14 bit 4-20mA, two or three wire.  
**ANALOG OUTPUT:** Isolated 4-20 MADC, up to 1,000 loop ohms. Better than 0.001 (12 bit) resolution  
**DIGITAL INPUT/OUTPUT:** RS-232 or RS-485 to a host computer or telemeter.  
**ALARMS:** High flow rate, low flow rate, overrange and lost echo  
**CALIBRATION ENTRY:** Board mounted keypad, 20 keys.  
**CALIBRATION PARAMETERS:** Zero, Span, flume or weir type, flume size, maximum flow rate (or custom 20 point head to flow curve), dampening, flow engineering units to be displayed, sampler frequency rate, alarm set points, RS-232 baud rate, failsafe action for outputs, and a lockout code to prevent tampering by unauthorized persons.  
**INDICATION:** Board mounted 16 character, alpha-numeric LCD display, user selectable to read flow rate, head, accumulated flow, temperature, calibration parameters and diagnostic data. Accumulated flow can be reset for various time studies. LCD illuminated display is optional.  
**MEMORY PROTECTION:** Non-volatile, maintains stored data for more than 5 years following loss supply power. No battery to replace.  
**SELF-DIAGNOSTICS:** Continuous self-checking; various actions can be programmed for various modes of detected failure.  
**ANALOG ACCURACY:** 0.02%FS  
**ANALOG REPEATABILITY:** 0.01%FS  
**WIRING CONNECTIONS:** Clamp type up to 12 gage (2mm).  
**RELAYS:** Five: SPDT, 10 amp at 240 VAC contacts

### OUTLINE DIMENSIONS



### RECOMMENDED TRANSMITTER IF FURNISHED BY DELTA CONTROLS

The Model HPT transmitter uses head pressure sensing methods; is cable connected; made of 316 S.S. and PVC wetted materials; is calibrated 0-24 inches head pressure. It is mounted by insertion into existing stilling wells; by attachment to the bottom of a flume; to the upstream side of a weir plate; or directly to the "slide in" probe plate of an existing capacitance based OCFM (the old coax and electronics are to be discarded). This highly reliable transmitter has been proven in thousands of world wide applications.

### DELTA CONTROLS Corporation

585 FORTSON STREET  
 SHREVEPORT, LA. 71107 - USA  
 PHONE: 318-424-8471 FAX: 318-425-2421

e-mail: [delta@deltacont.com](mailto:delta@deltacont.com) Web Site: <http://www.deltacont.com>

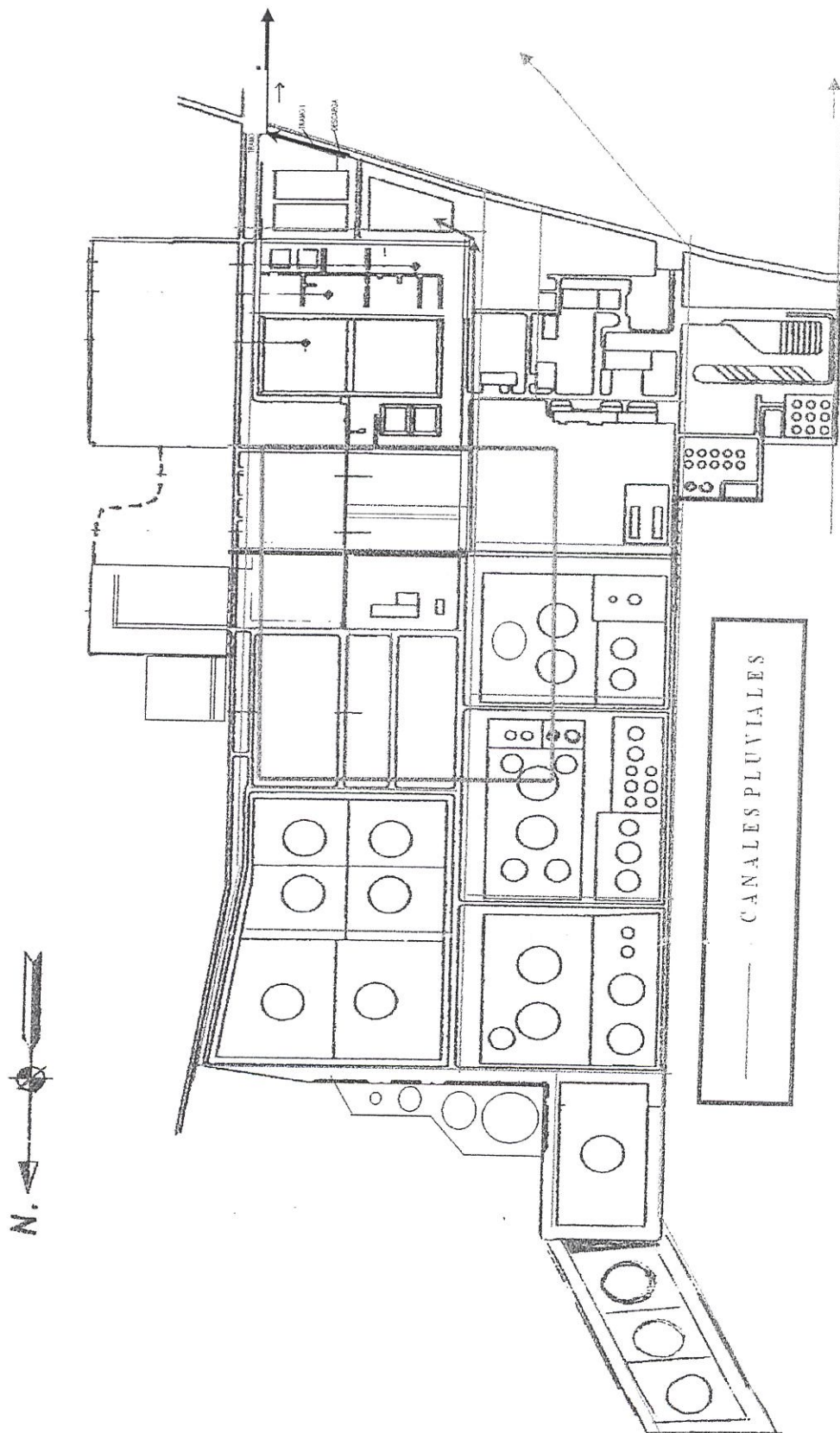


00-66801B EEB 17 FEB 99

The most recent version of this document can be found at [www.deltacont.com/00-66801.pdf](http://www.deltacont.com/00-66801.pdf)

## APÉNDICE K

PLANO EN EL QUE SE MUESTRA LA TRAYECTORIA DEL CANAL DE DESCARGA DE EFLUENTES



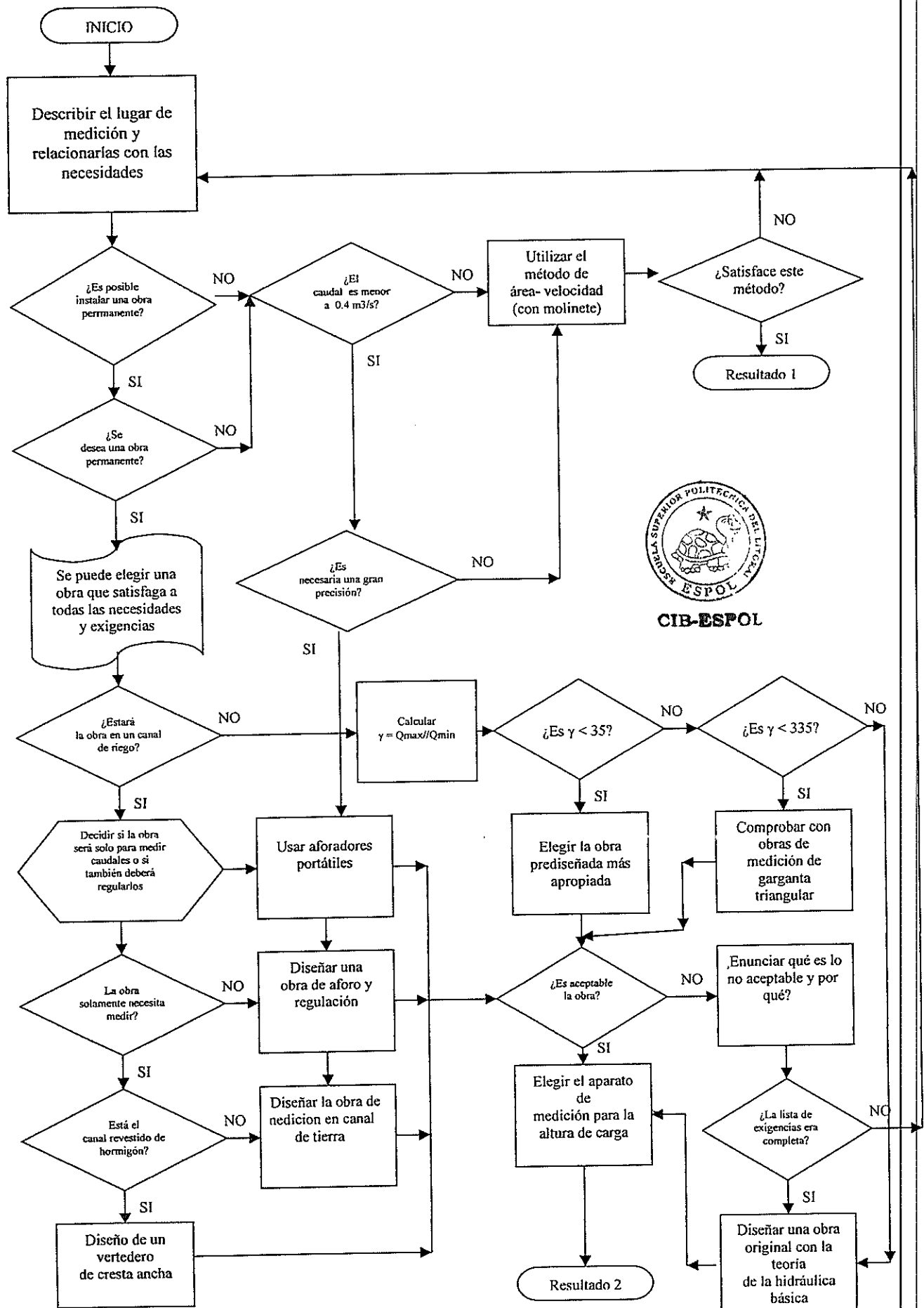
# APÉNDICE L

## FORMULARIO PARA LA TOMA DE DATOS SOBRE EL POSIBLE EMPLAZAMIENTO DEL AFORADOR

NOMBRE DEL LUGAR:		FECHA:	
NECESIDADES HIDRAULICAS			
Gama de caudales a medir		Altura de agua actual en el canal	
Q <sub>min</sub> = _____ (m <sup>3</sup> /s)		Y2 min = _____ (m)	
Q <sub>max</sub> = _____ (m <sup>3</sup> /s)		Y2 max = _____ (m)	
DESCRIPCION HIDRAULICA		Croquis de la sección transversal del canal	
Anchura de la solera del canal	b = _____ (m)		
Profundidad del canal	d = _____ (m)		
Profundidad máxima admisible de agua en el canal	Y1 max = _____ (m)		
Descenso disponible de la superficie del agua en el emplazamiento	H = _____ (m)		
Salto de la solera del canal en el emplazamiento	p = _____ (m)		
FUNCION DE LA OBRA		Perfil longitudinal de la solera	
Sólo de medición	<input type="checkbox"/>		
Regulación y aforo del canal	<input type="checkbox"/>		
PERIODO DE FUNCIONAMIENTO DE LA OBRA			
Diario	<input type="checkbox"/>	Estacional	<input type="checkbox"/>
Mensual	<input type="checkbox"/>	Permanente	<input type="checkbox"/>
DESCRIPCION DEL ENTORNO			
Canal principal	<input type="checkbox"/>		
Canal secundario	<input type="checkbox"/>		
Acequia en línea	<input type="checkbox"/>		
Acequia en parcela	<input type="checkbox"/>		
DESCRIPCION POSTERIOR		Plano del emplazamiento	

# APÉNDICE M

## FLUJOGRAMA PARA LA SELECCIÓN DE ESTRUCTURAS DE AFORO BOS (1986)





## APÉNDICE N

### DISEÑO DEL AFORADOR CON WINFLUME

#### About WinFlume

U.S. Bureau of Reclamation  
Water Resources Research Lab



[www.usbr.gov/pmts/hydraulics\\_lab](http://www.usbr.gov/pmts/hydraulics_lab)

USDA - Agricultural Research Service  
U.S. Water Conservation Laboratory



[www.uswcl.ars.ag.gov](http://www.uswcl.ars.ag.gov)

International Institute for Land  
Reclamation & Improvement



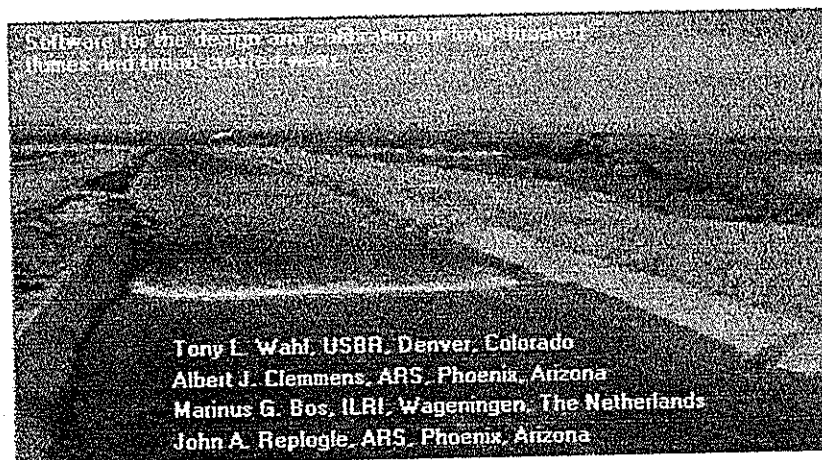
[www.iiri.nl](http://www.iiri.nl)

#### *WinFlume*

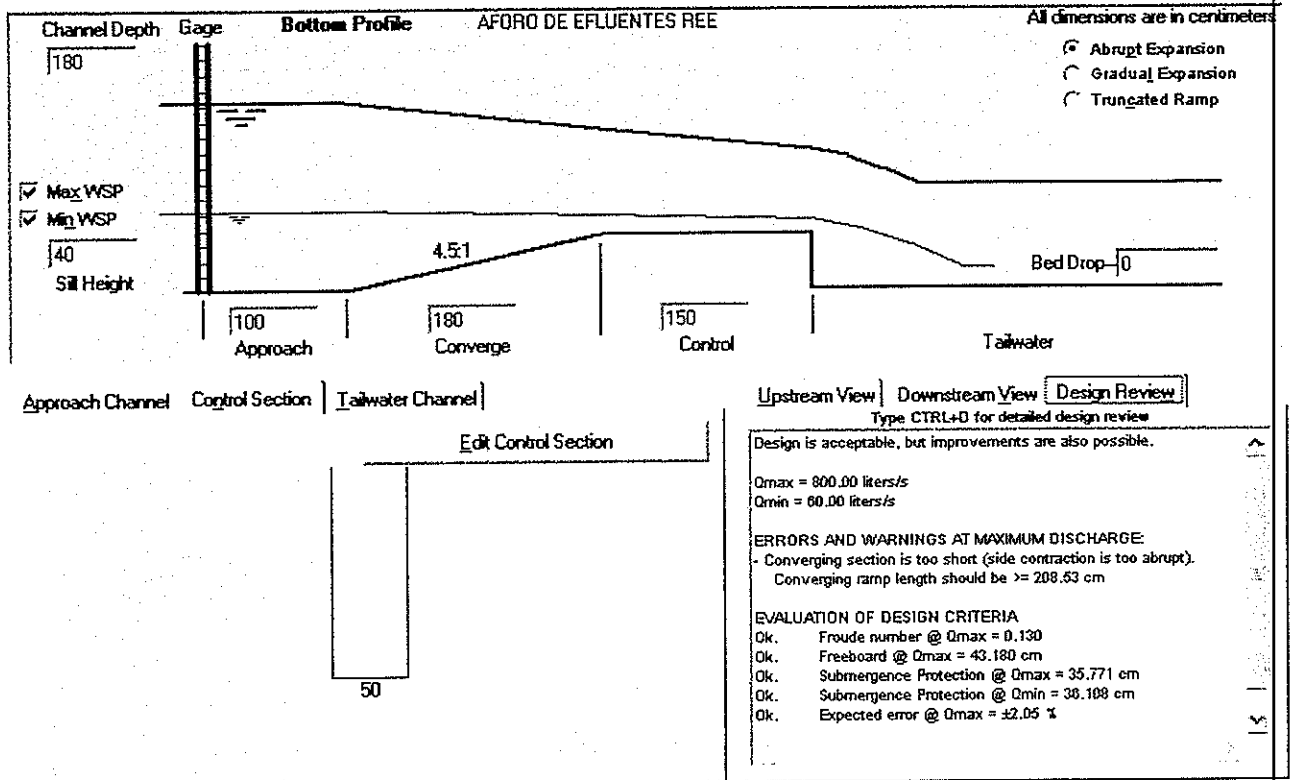
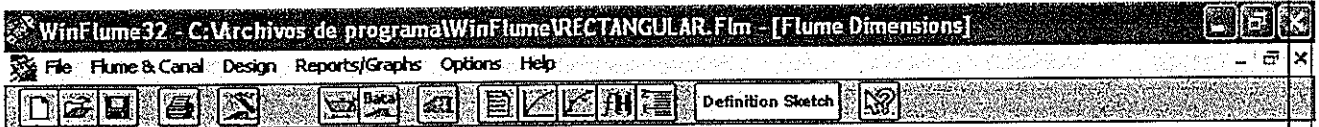
WinFlume32 - Version 1.05.0023

[www.usbr.gov/pmts/hydraulics\\_lab/winflume](http://www.usbr.gov/pmts/hydraulics_lab/winflume)

Select a command from the File menu or  
the toolbar to begin.



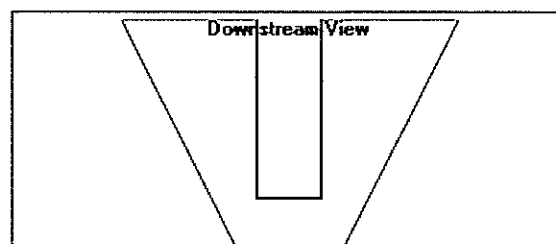
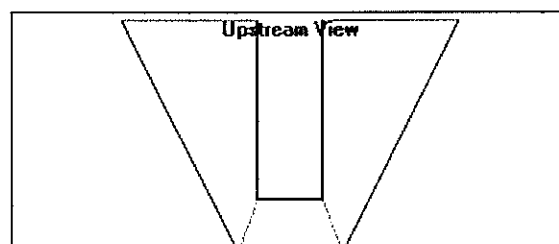
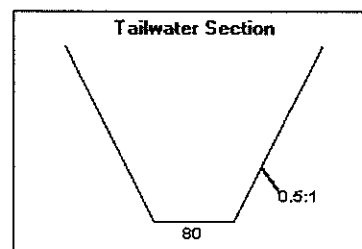
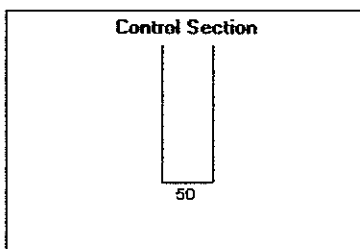
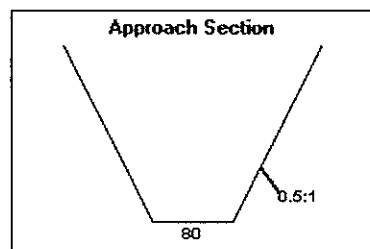
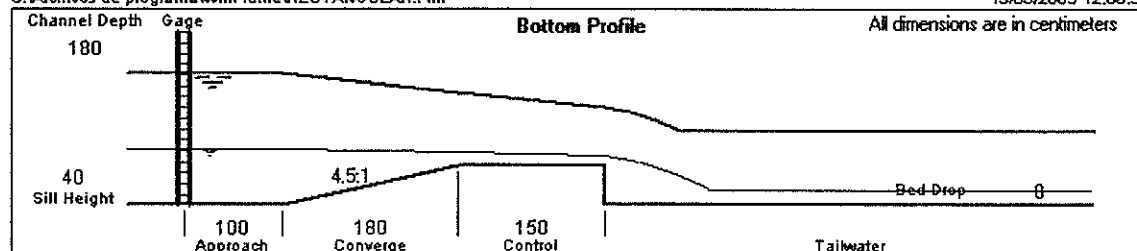
CIB-ESPOL



AFORO DE EFLUENTES REE - Revision 17

C:\Archivos de programa\WinFlume\RECTANGULAR.Flm

13/03/2005 12:08:58



CIB-ESPOL

## APÉNDICE O

### RESULTADOS DEL DISEÑO CON WINFLUME

TABLA DE CALIBRACIÓN CAUDAL – NIVEL (Q-H)

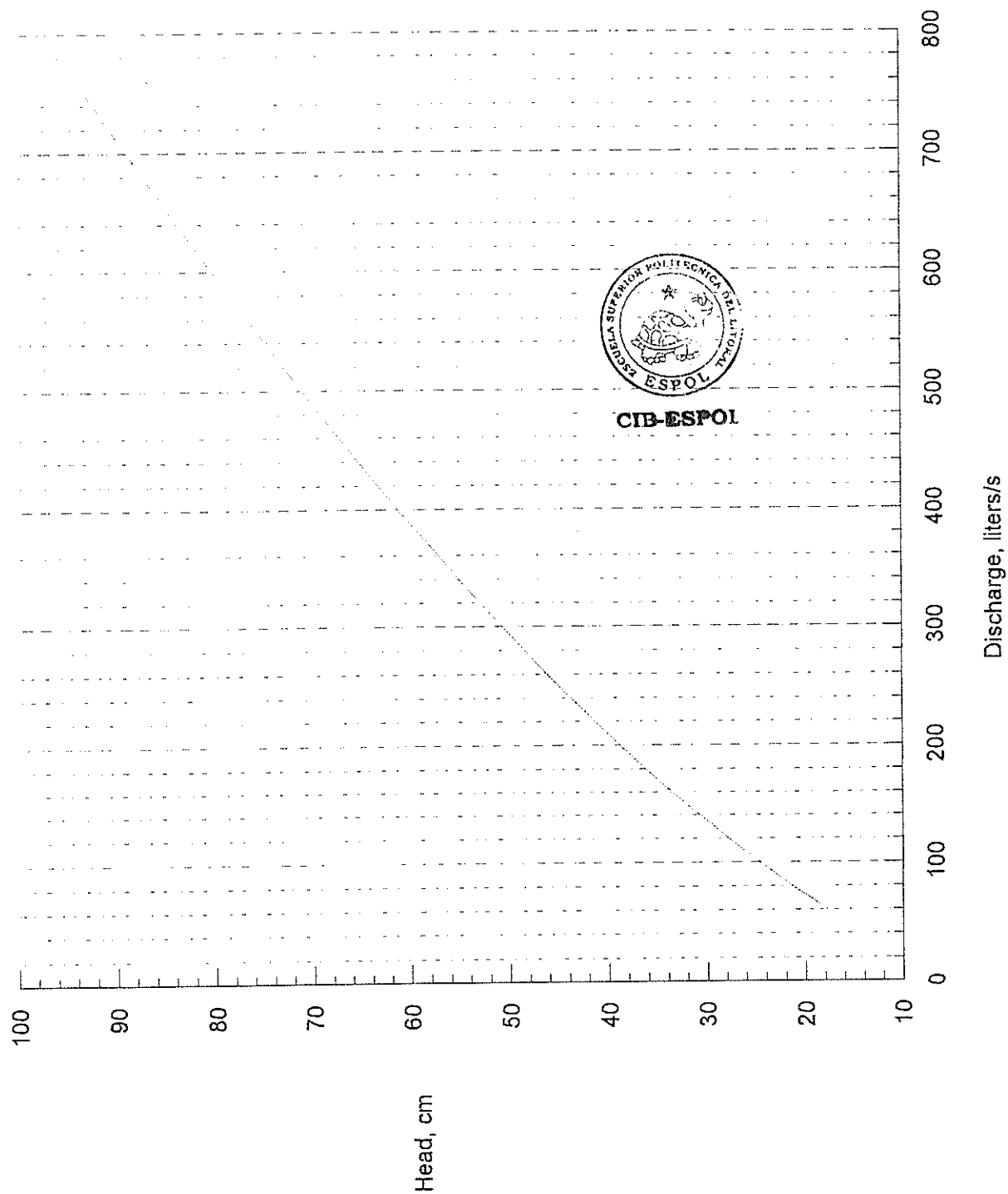
User: AFORO DE EFLUENTES - REE      WinFlume32 - Version 1.05.0023  
 C:\Archivos de programa\WinFlume\RECTANGULAR.Flm - Revision 17  
 AFORO DE EFLUENTES REE  
 Standard Rating Table, Printed: 17/08/2005 8:24:45

Discharge liters/s	Head at Gage, hl cm	Froude Number	Required Head Loss cm	Hl/L Ratio	Submerge. Ratio	Errors
60.0	17.671	0.045	5.845	0.118	0.000	
80.0	21.316	0.054	6.823	0.143	0.000	
100.0	24.663	0.062	7.687	0.165	0.000	
120.0	27.781	0.069	8.479	0.186	0.000	
140.0	30.723	0.074	9.214	0.206	0.000	
160.0	33.526	0.080	9.903	0.225	0.000	
180.0	36.213	0.084	10.555	0.243	0.000	
200.0	38.801	0.088	11.178	0.260	0.000	
220.0	41.304	0.092	11.775	0.277	0.000	
240.0	43.731	0.095	12.351	0.293	0.000	
260.0	46.092	0.098	12.909	0.309	0.024	
280.0	48.393	0.101	13.452	0.325	0.062	
300.0	50.639	0.103	13.980	0.340	0.095	
320.0	52.837	0.106	14.496	0.355	0.124	
340.0	54.988	0.108	15.001	0.369	0.150	
360.0	57.099	0.110	15.496	0.384	0.174	
380.0	59.170	0.111	15.982	0.398	0.195	
400.0	61.206	0.113	16.460	0.411	0.214	
420.0	63.208	0.115	16.930	0.425	0.232	
440.0	65.179	0.116	17.394	0.438	0.248	
460.0	67.120	0.117	17.851	0.451	0.263	
480.0	69.034	0.119	18.303	0.464	0.277	
500.0	70.922	0.120	18.749	0.477	0.289	
520.0	72.785	0.121	19.191	0.489	0.301	
540.0	74.624	0.122	19.627	0.502	0.312	22
560.0	76.441	0.123	20.059	0.514	0.322	22
580.0	78.236	0.124	20.487	0.526	0.332	22
600.0	80.012	0.124	20.911	0.538	0.341	22
620.0	81.768	0.125	21.331	0.550	0.349	22
640.0	83.505	0.126	21.748	0.561	0.357	22
660.0	85.225	0.127	22.161	0.573	0.364	22
680.0	86.928	0.127	22.572	0.584	0.371	22
700.0	88.614	0.128	22.979	0.596	0.378	22
720.0	90.285	0.128	23.384	0.607	0.384	22
740.0	91.940	0.129	23.786	0.618	0.390	22
760.0	93.581	0.129	24.185	0.629	0.395	22
780.0	95.207	0.130	24.582	0.640	0.401	22
800.0	96.820	0.130	24.977	0.651	0.406	22

#### Error Summary

22 - Converging section is too short (side contraction is too abrupt).

# AFORO DE EFLUENTES REE - Revision 17



User: AFORO DE EFLUENTES - REE WinFlume32 - Version 1.05.0023  
C:\Archivos de programa\WinFlume\RECTANGULAR.Flm - Revision 17  
AFORO DE EFLUENTES REE  
Printed: 17/08/2005 8:18:42

FLUME DATA REPORT

GENERAL DATA ON FLUME

Type of structure: Stationary Crest  
Type of lining: Concrete - smooth  
Roughness height of flume: 0.015000 cm

BOTTOM PROFILE DATA

Length per section: Approach section, La = 100.000 cm  
Converging transition, Lb = 180.000 cm  
Control section, L = 150.000 cm  
Diverging transition, Ld = 0.000 cm

Vertical dimensions: Upstream channel depth = 180.000 cm  
Height of sill, pl = 40.000 cm  
Bed drop = 0.000 cm  
Diverging transition = Abrupt Expansion

-- APPROACH SECTION DATA --

Section shape = SIMPLE TRAPEZOID  
Bottom width = 80.000 cm  
Side slopes = 0.50:1

-- CONTROL SECTION DATA --

Section shape = RECTANGULAR  
Bottom width = 50.000 cm

-- TAILWATER SECTION DATA --

Section shape = SIMPLE TRAPEZOID  
Bottom width = 80.000 cm  
Side slopes = 0.50:1



**CIB-ESPOL**

User: AFORO DE EFLUENTES - REE WinFlume32 - Version 1.05.0023  
C:\Archivos de programa\WinFlume\RECTANGULAR.Flm - Revision 17  
AFORO DE EFLUENTES REE  
Printed: 17/08/2005 8:21:18

#### SUMMARY EVALUATION OF FLUME DESIGN

Design is acceptable, but improvements are also possible.  
One error or warning.

#### EVALUATION OF FLUME DESIGN FOR EACH DESIGN REQUIREMENT

Ok.	Froude number at $Q_{max} = 0.130$	Maximum allowed = 0.500
Ok.	Freeboard at $Q_{max} = 43.180$ cm	Minimum allowed = 10.000 cm
Ok.	Tailwater at $Q_{max} = 75.460$ cm	Maximum allowed = 111.231 cm Submergence Protection at $Q_{max} = 35.771$ cm
Ok.	Tailwater at $Q_{min} = 15.705$ cm	Maximum allowed = 51.813 cm Submergence Protection at $Q_{min} = 36.108$ cm
Ok.	Head at $Q_{max} = 96.820$ cm	Minimum for accuracy = 21.307 cm Expected discharge measurement error at $Q_{max} = \pm 2.05$ %
Ok.	Head at $Q_{min} = 17.671$ cm	Minimum for accuracy = 9.651 cm Expected discharge measurement error at $Q_{min} = \pm 4.65$ %

#### CONTROL SECTION DATA

Section shape = RECTANGULAR  
Bottom width = 50.000 cm  
Sill Height,  $p_1 = 40.000$  cm

#### DESIGN CRITERIA

Structure Type: Stationary Crest  
Freeboard design criterion: Freeboard  $\geq 10.000$  cm  
Allowable discharge measurement errors for a single measurement:  
At minimum discharge:  $\pm 8$  %  
At maximum discharge:  $\pm 4$  %  
Head detection method: Staff gage without stilling well,  $Fr = 0.2$  [custom]  
Expected measurement error =  $\pm 0.500000$  cm  
Design discharges and associated tailwater levels:  
Minimum discharge = 60.000 liters/s Minimum tailwater depth = 15.705 cm  
Maximum discharge = 800.000 liters/s Maximum tailwater depth = 75.460 cm  
Tailwater calculation method: Manning's equation using  $n$  and  $S$   
Manning's  $n = 0.0250$   
Hydraulic gradient = 0.002000 cm/cm

# 60



**CIB-ESPOL**

Bottom of baseline is top of sill. Install on 0.5:1 (h:v) slope.

Gage shows discharge in liters/s  
C:\Archivos de programa\WinFlume\RECTANGULAR.Flm  
AFORO DE EFLUENTES REE - Revision 17



200

180

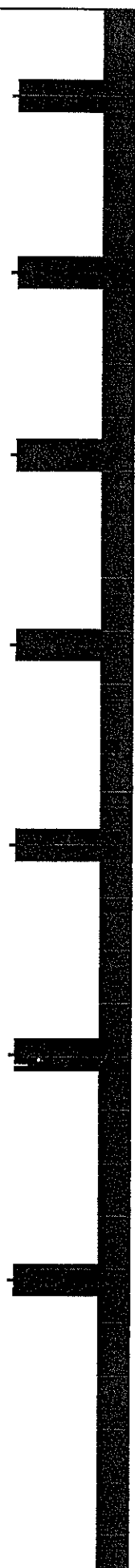
160

140

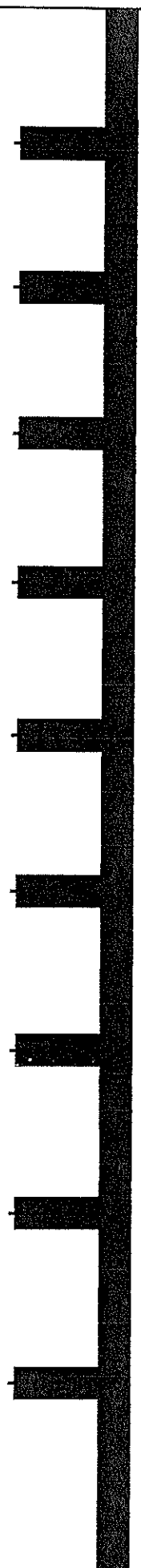
120

100

80



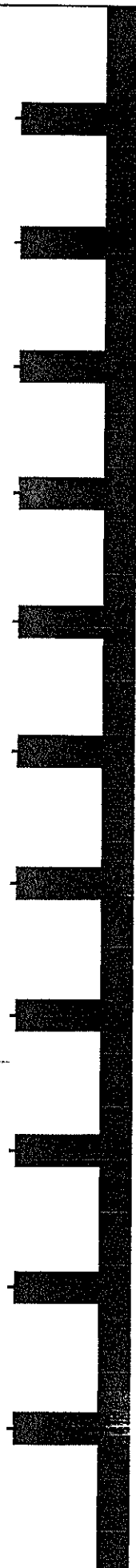
360  
340  
320  
300  
280  
260  
240  
220  
200





CIB-ESPOL

560  
540  
520  
500  
480  
460  
440  
420  
400  
380  
360





RECTANGULAR.Flm (Page 5)

Bottom of baseline is top of sill. Install on 0.5:1 (h:v) slope.  
C:\Archivos de programa\WinFlume\RECTANGULAR.Flm  
AFORO DE EFLUENTES REE - Revision 17

788 L/s

**COTIZACION DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS**

Cliente: NERI ATTN: Ing. Ramon Bedoya Medidores de Nivel Ultrasonicos DELTA CONTROLS				Cotización: ER0412-141 VENTA LOCAL Fecha: 20-Dic-04	
ÍTEM	UNID	CANT	DESCRIPCIÓN	Unit List Price	Total List Price
1	UN	1	OPEN CHANNEL FLOW METER MODEL 668	2,500.00	2,500.00
SUB-TOTAL 12% IVA TOTAL				2,500.00	300.00
				2,800.00	
Tiempo de Entrega: 10 a 12 semanas Forma de Pago: A 20 Días Garantia Equipos Contra defectos de Fabricación: Un año  Validez de la Oferta: 30 Días					
<b>Cotizado Por: Ing. Elena Racines S.</b>					
ELIA LIUT OE3-57 Y BRASIL, TEL: 2278655; CELULAR: 0999 59210- QUITO ECUADOR					



## BIBLIOGRAFÍA

CIB-ESPOL

1. BOS, REPLOGLE AND CLEMMENS, Flow Measuring Flumes for Open Channel Systems, John Wiley & Sons, New York, NY, 321 p. 1986
2. BURT and STYLES, Basic Design of Replogle Flumes, Irrigation Training and Research Center. 2000
3. CLEMMENS, BOS, AND REPLOGLE., Design and Calibration of Long-Throated Measuring Flumes, ILRI Publication 54, International Institute for Land Reclamation and Improvement, The Netherlands, 123 p. 1993
4. CHOW, VEN TE, Open Channel Hydraulics. Mc Graw - Hill. 1959.
5. FRENCH, Open Channel Hydraulics. Mc Graw - Hill. 336-365 p.
6. ECUAMBIENTE S.A. Auditoria Ambiental Integral a la Refinería Estatal de Esmeraldas – REE. Ecuambiente S.A., Noviembre de 2001.
7. KIELY GERARD. Ingeniería Ambiental, Volumen II, Primera Edición. España: McGraw-Hill / Interamericana de España, 1999.
8. PETROECUADOR Glosario de la Industria Hidrocarburífera., Reedición, 2001.
9. STRETER, Mecánica de Fluidos, John Wiley & Sons, NY

10. U.S. BUREAU OF RECLAMATION, Water Measurement Manual, 3rd ed., U.S. Government Printing Office, Washington DC 1997

11. WAHL T. MINISTERIO DE AGRICULTURA, INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES, INTENDENCIA DE RECURSOS HIDRICOS DE LOS EUA, WinFlume, Manual del usuario. Software para el Diseño y Calibración de Aforadores de Garganta Larga y Vertederos de Cresta Ancha para Medición de Descargas en Canales Abiertos (traducción al español). 2001

**DIRECCIONES DE LA WEB:**

<http://www.petroecuador.com.ec/pin/refin-esmeraldas>

<http://www.ub.es/graap/wp1997-Termes.PDF>

<http://www.usbr.gov/wrrl/winflume>

<http://www.ilri.nl>

<http://www.itrc.org>

<http://www.flowmeterdirectory.com>



**CIB- ESPOL**



## BIBLIOGRAFÍA

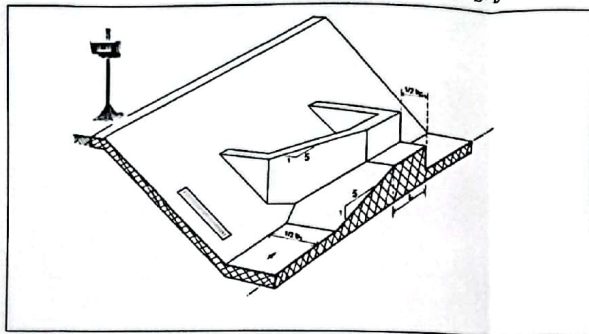
1. BOS, REPLOGLE AND CLEMMENS, Flow Measuring Flumes for Open Channel Systems, John Wiley & Sons, New York, NY, 321 p. 1986
2. BURT and STYLES, Basic Design of Replogle Flumes, Irrigation Training and Research Center. 2000
3. CLEMMENS, BOS, AND REPLOGLE., Design and Calibration of Long-Throated Measuring Flumes, ILRI Publication 54, International Institute for Land Reclamation and Improvement, The Netherlands, 123 p. 1993
4. CHOW, VEN TE, Open Channel Hydraulics. Mc Graw - Hill. 1959.
5. FRENCH, Open Channel Hydraulics. Mc Graw - Hill. 336-365 p.
6. ECUAMBIENTE S.A. Auditoria Ambiental Integral a la Refinería Estatal de Esmeraldas – REE. Ecuambiente S.A., Noviembre de 2001.
7. KIELY GERARD. Ingeniería Ambiental, Volumen II, Primera Edición. España: McGraw-Hill / Interamericana de España, 1999.
8. PETROECUADOR Glosario de la Industria Hidrocarburífera., Reedición, 2001.
9. STRETER, Mecánica de Fluidos, John Wiley & Sons, NY

10. U.S. BUREAU OF RECLAMATION, Water Measurement Manual, 3rd ed., U.S. Government Printing Office, Washington DC 1997
11. WAHL T. MINISTERIO DE AGRICULTURA, INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES, INTENDENCIA DE RECURSOS HIDRICOS DE LOS EUA, WinFlume, Manual del usuario. Software para el Diseño y Calibración de Aforadores de Garganta Larga y Vertederos de Cresta Ancha para Medición de Descargas en Canales Abiertos (traducción al español). 2001

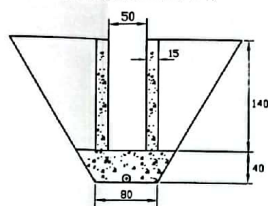
#### **DIRECCIONES DE LA WEB:**

<http://www.petroecuador.com.ec/pin/refin-esmeraldas>  
<http://www.ub.es/graap/wp1997-Termes.PDF>  
<http://www.usbr.gov/wrrl/winflume>  
<http://www.ilri.nl>  
<http://www.itrc.org>  
<http://www.flowmeterdirectory.com>

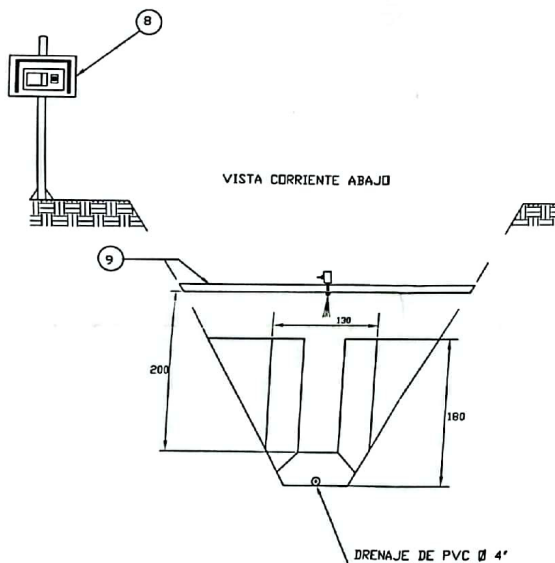
VISTA EN 3-D DEL CORTE LONGITUDINAL B-B



SECCION DE CONTROL A-A



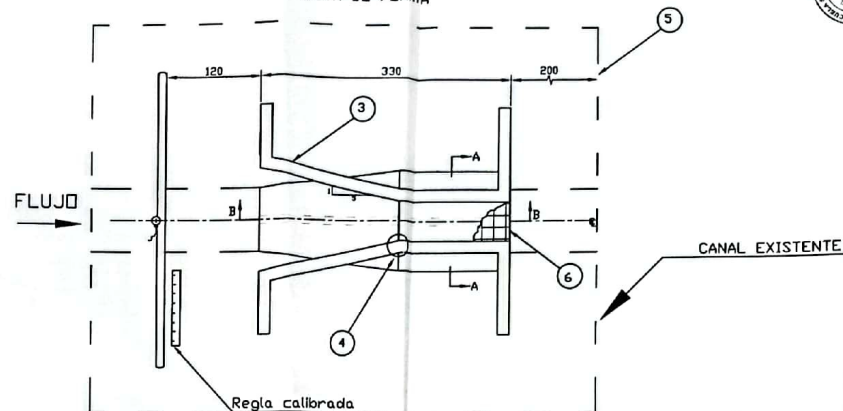
VISTA CORRIENTE ABAJO



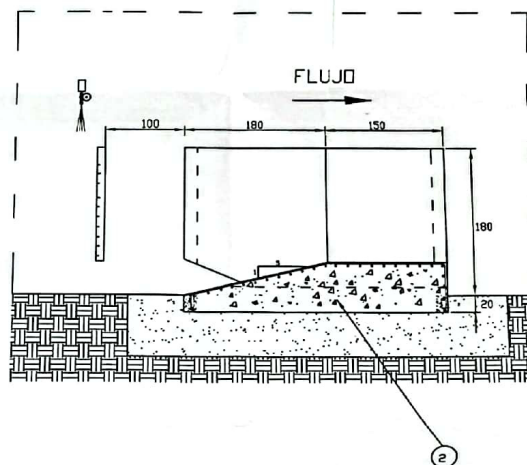
DETALLE 4



VISTA DE PLANTA



CORTE LONGITUDINAL B-B



NOTAS:

1. Todas las dimensiones se dan en cm.
2. La solera del vertedero esta formada por un bloque macizo de hormigón armado.
3. Las paredes que forman la contracción lateral son tambien de hormigón armado.
4. Todas las esquinas agudas a la entrada de la sección de control deben ser levemente redondeadas.
5. El emplazamiento de la obra comienza a partir de una distancia de 200 cm aguas arriba de la esaciera existente.
6. Armadura a lo largo de toda la solera dian. 10mm c/ 15 cm.
7. Sensor de nivel de agua.
8. Visualizador/Totalizador de caudal.
9. Soporte tubular

FIMCP - ESPOL		PROYECTO:	AFORO DE EFLUENTES DE REE	PLANO No:	1
ESCALA:	1:50	CONTIENE:	Aforador de pared ancha y disposición del sensor de nivel	MATERIALES:	MASA (Kg)
Dibujó: EUGUENES		Revisó: EUGUENES		Aprobó: EUGUENES	
Fecha: 01/04/05		Lugar: Bog. Páez		Escala: 1:50	