

# **ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE INGENIERIA**

### **OPTIMIZACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICA DEL POZO DE BANDEJAS COMO DISIPADOR DE ENERGÍA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**PAUL EDUARDO LEON VALAREZO**

**DIRECTOR: PROF. ING. MARCELO HIDALGO**

**Quito, Septiembre 2006**



## **DECLARACIÓN**

Yo, PAUL LEON VALAREZO, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**PAUL EDUARDO LEON  
VALAREZO**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por PAUL EDUARDO LEON VALAREZO, bajo mi supervisión.

---

**Ing. MARCELO HIDALGO**  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al final de una etapa de mi vida, he conocido personas a las cuales quiero extender mis agradecimientos, por colaborar directa o indirectamente en la culminación de este trabajo.

En primer lugar le doy gracias a Dios por saber guiar mi camino y permitir llegar hasta el final, agradezco a mi señor padre Manuel León, a mi señora madre Francelina Valarezo, a mi hermano Manolo que me ha acompañado en todas las adversidades, a mi hermana Carolina y a toda mi familia.

Les doy las gracias a los profesores ingenieros Marcelo Hidalgo, Marco Castro, Ximena Hidalgo por dirigir y proporcionar las herramientas necesarias sin egoísmo ni interés para finalizar con el presente proyecto demostrando a su vez la calidad profesional y personal.

A los ingenieros: Jorge Valverde quien siempre me dio la mano, Patricio Placencia por ser amigo y maestro, y a todos los profesores de la Carrera.

A una excelente persona y amigo de la Carrera: Rafael Poveda

A todas las señoritas secretarias: especialmente a Doña Sonia y Dona Ligia; y a todos los colaboradores de de la Facultad.

A mis amigos: Beto, Gallegos, David, Mario, Mateus, Oscar, Paola, Pao, Vivi, Ana Maria, Vero, Carlos, Belén, Fernan, Esteban, Chelo.

A mis compañeros de la U: Reyes, Jacinto, Alvaro, Juan Pablo, Júnior, Vero y a todos con los que he compartido a lo largo de la carrera.

A toda las personas que han confiado en mi, que me quieren y estiman, GRACIAS.

## **DEDICATORIA**

A través de este proyecto la meta de conseguir el título de ingeniero se hace realidad; pero lo que quiero dedicar no tiene que ver con el esfuerzo para conseguir el título o elaborar el presente proyecto, sino más bien, lo que puedo lograr en el futuro como profesional.

Para ti Martín, dedico el esfuerzo diario para tener y cuidar a mi familia y le pido a Dios que te permita estar como uno de sus hijos y algún día estar juntos otra vez.

Por ti Padre, por todo el sacrificio y la fuerza dentro de ti para levantar después de caer; eres la persona a la que más admiro en el mundo y de la que más orgulloso me siento; te dedico mi trabajo diario.

A ti Madre, que con dolor me trajiste al mundo y con cariño me enseñaste los valores, te dedico la justicia en mi vida.

Manolin sé que algún día serás un gran médico y siempre has sido mi apoyo, mi amigo y mi hermano; te dedico la ética profesional.

Lola, eres la nenita de corazón de hierro; te dedico la fuerza para vencer obstáculos y alcanzar las metas.

## **CONTENIDO**

DECLARACIÓN .....	ii
CERTIFICACIÓN .....	iii

AGRADECIMIENTOS .....	iv
DEDICATORIA .....	v
CONTENIDO.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE CUADROS .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
PRESENTACIÓN.....	xv
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES SOBRE EL PROBLEMA FÍSICO DE CAMBIO DE NIVEL Y DE DIRECCIÓN .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN DEL PROBLEMA TOPOGRÁFICO.....	1
1.2 ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN CON EL POZO DE BANDEJAS .....	1
1.2.1 INTRODUCCIÓN .....	2
1.2.2 DISIPACIÓN DE ENERGÍA HIDRÁULICA.....	3
1.3 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA EN LA QDA. CUSCUNGO .....	4
1.4 SÍNTESIS DE LOS PROBLEMAS HIDRÁULICOS.....	5
CAPÍTULO 2: RESUMEN DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE EL DISEÑO ORIGINAL .....	8
2.1 ANÁLISIS DIMENSIONAL Y SIMILITUD DINÁMICA RESTRINGIDA .....	8
2.1.1 TEOREMA □ O DE BUCKINGHAM.....	9
2.1.2 CRITERIOS DE SIMILITUD.....	9
2.1.3 HIPÓTESIS PARA EL ANÁLISIS DIMENSIONAL .....	11
2.1.4 MAGNITUDES Y PARÁMETROS INVOLUCRADOS .....	12
2.1.4.1 PARAMETROS GEOMETRICOS.....	12
2.1.4.2 PARAMETROS DEL FLUIDO.....	12
2.1.4.3 PARAMETROS DINAMICOS .....	12
2.1.4.4 PARAMETROS CINEMATICOS.....	13
2.1.4.5 ANÁLISIS POR EL TEOREMA DE BUCKINGHAM.....	13
2.2 PLAN DE PRUEBAS EN EL MODELO DE DOS BANDEJAS .....	17
2.3 PLAN DE PRUEBAS EN EL MODELO DE SEIS BANDEJAS.....	19
2.4 SÍNTESIS DE LAS OBSERVACIONES.....	24
2.5 CONCLUSIONES .....	25
CAPÍTULO 3: VARIANTE DEL FLUJO VERTICAL EN LABERINTO: VARIANTE No. 1.....	27
3.1 BASES DE DISEÑO HIDRODINÁMICO.....	27
3.1.1 CAUDAL DE DISEÑO.....	27
3.1.2 DESNIVEL A VENCER .....	28
3.2 DIMENSIONAMIENTO GEOMÉTRICO DE LAS ESTRUCTURAS .....	28
3.3 PLAN DE PRUEBAS .....	30
3.4 ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO PARA DIFERENTES CAUDALES...	32

3.4.1	CANAL DE APROXIMACIÓN Y BANDEJAS .....	32
3.5	DESCRIPCIÓN DE LOS FENÓMENOS FÍSICOS OBSERVADOS .....	39
3.5.1	VIBRACION INDUCIDA .....	40
3.5.2	CHORRO EN UNA MASA DE AGUA.....	40
3.5.3	IMPACTO DEL CHORRO CONTRA LA PARED .....	41
3.6	CONCLUSIONES .....	41
CAPÍTULO 4: VARIANTE DEL FLUJO DE CAÍDA LIBRE CON REJA HORIZONTAL: VARIANTE NO. 2 .....		42
4.1	BASES DE DISEÑO HIDRODINÁMICO, DISIPADOR DE PEQUEÑA CAÍDA LIBRE .....	42
4.2	DIMENSIONAMIENTO GEOMÉTRICO DE LAS ESTRUCTURAS .....	42
4.3	PLAN DE PRUEBAS .....	45
4.4	ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO PARA DIFERENTES CAUDALES ..	46
4.4.1	CANAL DE APROXIMACIÓN Y BANDEJAS .....	46
4.5	DESCRIPCIÓN DE LOS FENÓMENOS FÍSICOS OBSERVADOS .....	54
4.5.1	VIBRACION INDUCIDA.....	55
4.5.2	CAIDA LIBRE .....	55
4.5.3	CHORRO EN UNA MASA DE AGUA.....	55
4.5.4	IMPACTO DEL CHORRO CONTRA LA PARED .....	55
4.6	CONCLUSIONES .....	56
CAPÍTULO 5: DISEÑO ESTRUCTURAL DEL POZO DE BANDEJAS MODIFICADO .....		57
5.1	ANÁLISIS DE LAS FUERZAS ACTUANTES.....	57
5.1.1	FUERZAS DEL SUELO .....	57
5.1.2	FUERZAS HIDRÁULICAS .....	59
5.1.3	FUERZAS DE LA ESTRUCTURA.....	60
5.2	CONSIDERACIONES SOBRE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS REQUERIDOS.....	61
5.3	SOLUCIÓN AL DISEÑO ESTRUCTURAL EN HORMIGÓN ARMADO .....	62
5.4	VOLUMENES DE OBRA .....	64
5.4.1	HORMIGÓN ESTRUCTURAL.....	65
5.4.2	ACERO DE REFUERZO .....	65
5.5	CONCLUSIONES .....	68
CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LOS PRINCIPALES RUBROS ESPECIALES.....		69
6.1	SELECCIÓN DE LOS RUBROS.....	69
6.2	RENDIMIENTOS DE MANO DE OBRA, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS..	71
6.2.1	METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	72
6.3	ELABORACIÓN DE PRESUPUESTOS REFERENCIALES DE LAS DOS VARIANTES .....	73
6.4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	75



CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES SOBRE EL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LAS ESTRUCTURAS ENSAYADAS Y COMPARACIÓN DE COSTOS .....	77
7.1 SOBRE LA ESTABILIDAD DEL FLUJO DE CAÍDA LIBRE .....	77
7.2 SOBRE LA INTRODUCCIÓN DE AIRE .....	78
7.3 SOBRE LA DISIPACIÓN GLOBAL DE ENERGÍA.....	79
7.4 SOBRE LA ENTREGA DEL CAUDAL EN EL CONDUCTO HORIZONTAL INFERIOR.....	80
7.5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS COSTOS DIRECTOS.....	81
7.6 SELECCIÓN DE LA VARIANTE DE MENOR COSTO.....	81
CAPÍTULO 8: RECOMENDACIONES PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL POSTERIOR .....	83
8.1 RECOMENDACIONES RESPECTO DE LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA.....	83
8.2 RECOMENDACIONES RESPECTO DEL MODELO FÍSICO.....	84
8.3 RECOMENDACIONES RESPECTO AL COSTO .....	85
CAPÍTULO 9: BIBLIOGRAFÍA.....	86
ANEXOS .....	88
PLANOS	
CD DATOS DE LABORATORIO	

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla No.</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
6.1	Presupuesto referencial Pozo en laberinto de bandejas tipo "L"	73
6.2	Presupuesto referencial Pozo de bandejas con "rejilla horizontal"	74
7.1	Tabla comparativa de disipación de energía de las dos variantes	79
7.2	Tabla comparativa de costo directo de las dos variantes	80

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura No.</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1.1	Esquema del Pozo de Bandejas	1
1.2	Dimensiones de la sección de la conducción tipo baúl	5
1.3	Corte del Pozo de Bandejas Qda. Cuscungo	6
2.1	Distribución de puntos de medición en Pozo de dos Bandejas	18
2.2	Distribución de puntos de medición en Pozo de seis Bandejas	21
3.1	Dimensionamiento Del Pozo En Laberinto	28
3.2	Área De Descarga De La Bandeja Tipo L	30
3.3	Distribución de puntos de medición en la estructura Pozo Laberinto	32
3.4	Representación de calados y energía	34
3.5	Relación adimensional entre el calado y el Fr	35
3.6	Relación adimensional entre el calado y la Energía específica	36
3.7	Relación Adimensional entre Calado $Y_{3a}/Y_c$ y Fr 3a. (Bandeja 3)	37

3.8	Relación Adimensional Entre Calado Y3d/Yc Y Fr 3d. (Bandeja 3)	38
3.9	Relación Adimensional entre Calado Y3a/Yc y la Energía Específica. (Bandeja 3)	39
4.1	Dimensionamiento del Pozo Rejilla Horizontal	42
4.2	Área de descarga de la bandeja con rejilla horizontal	45
4.3	Distribución de medidas Pozo Rejilla Horizontal	46
4.3 a	Relación adimensional entre el calado y el Fr	47
4.4	Relación adimensional entre el calado y la Energía específica	48
4.5	Relación Adimensional entre Calado Y2a/Yc y Fr 2a. (Bandeja 2)	50
4.6	Relación Adimensional entre Calado Y3a/Yc y Fr 3a. (Bandeja 3)	50
4.7	Relación Adimensional entre Calado Y2d/Yc y Fr 2d. (Bandeja 2)	51
4.8	Relación Adimensional entre Calado Y3d/Yc y Fr 3d.	52
4.9	Relación Adimensional Calado Y2a/Yc y la Energía Específica.	52

4.10	Relación Adimensional entre Calado $Y_{3a}/Y_c$ y la Energía Específica. (Bandeja 3)	53
5.1	Representación del coeficiente de balasto	57

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro No.</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
5.1	Resumen de diseño Pozo de Bandejas tipo L	63
5.2	Resumen de diseño Pozo de Bandejas rejilla horizontal	63
5.3	Volúmenes de obra para Pozo en laberinto de bandejas tipo "L"	65
5.4	Volúmenes de obra para Pozo de bandejas con "rejilla horizontal"	66
6.1	Especificaciones técnicas.	69
6.2	Rendimiento y cuadrilla tipo.	71

## **RESUMEN**

El presente proyecto tiene por objeto el análisis técnico económico de dos variantes del pozo de bandejas como disipadores de energía.

La estructura se crea con el fin de obtener una solución adicional a la disipación de energía en sistemas de alcantarillado donde la topografía limita el uso de disipadores de energía con desarrollo longitudinal y además se necesita vencer grandes alturas.

El ensayo de las variantes se realizó en modelos y prototipos de pozo de bandejas dentro del laboratorio de Ciencias del agua de la Carrera de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica Nacional.

Luego de los ensayos y pruebas realizadas, el análisis consta de tres partes fundamentales que se mencionan ordenadamente a continuación: análisis hidráulico, análisis estructural y análisis económico. Con estos resultados se hace una comparación entre el pozo de bandejas en laberinto y el pozo de bandejas con reja horizontal.

El análisis y estudio trata de ser una guía para la elección de la variante más factible de construir, tomando en cuenta las ventajas técnico económicas para cada estructura.

## **PRESENTACION**

Debido a la necesidad de encontrar soluciones para disipar energía mediante estructuras de ingeniería, la empresa municipal de alcantarillado y agua potable de la ciudad de Quito, construyó estructuras disipadoras de energía denominadas pozos de bandejas.

Para conocer su comportamiento y eficiencia; se realizaron pruebas y ensayos en el laboratorio de la Escuela Politécnica Nacional de dos variantes de pozo de bandejas con diferentes caudales; para analizar el funcionamiento hidráulico.

El presente proyecto de titulación mediante el análisis hidráulico tiene por objeto realizar un diseño estructural en hormigón armado y el análisis de costos de las dos estructuras de pozos de bandejas propuestas; con la finalidad de hacer un estudio técnico económico y obtener la variante de mayores ventajas comparativas.



## **CAPITULO 1.**

### **1. GENERALIDADES SOBRE EL PROBLEMA FÍSICO DE CAMBIO DE NIVEL Y DE DIRECCIÓN**

#### **1.1 INTRODUCCIÓN DEL PROBLEMA TOPOGRÁFICO**

En las ciudades ubicadas en la región interandina los sistemas de alcantarillado, están en su mayoría influenciados por la topografía. Las pronunciadas pendientes, los fuertes y frecuentes cambios de nivel constituyen un gran problema, pues inducen velocidades de flujo, que fácilmente superan los rangos admisibles.

Para conducir adecuadamente los caudales en un sistema de alcantarillado, se debe contar con estructuras especiales, capaces de disipar energía, que permitan los cambios de nivel y de dirección de los flujos rápidos y finalmente entreguen un flujo uniformizado y tranquilo.

La implementación de los pozos de bandeja como una solución de disipador de energía en el Plan Maestro de Alcantarillado para Quito, indujo que se los utilice con relativa frecuencia, sin disponer del necesario marco teórico que sustente su correcto diseño y funcionamiento.

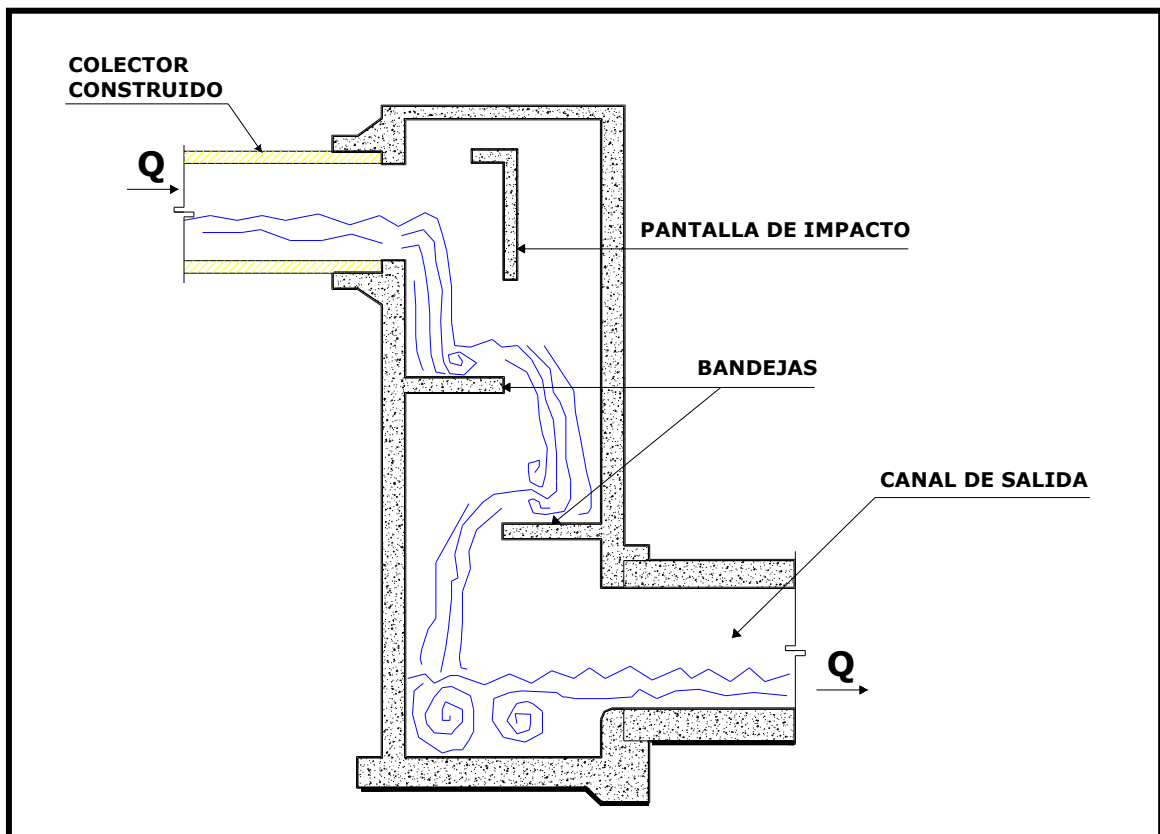
#### **1.2 ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN CON EL POZO DE BANDEJAS**

### 1.2.1 INTRODUCCIÓN

Se denomina pozo de bandejas a una estructura vertical, ubicada al final de un canal de alcantarillado, en donde el agua tiene que vencer una diferencia de nivel significativa, mediante losas Intermedias, en las cuales se inducen procesos de disipación de energía, tales como el cambio de régimen del flujo en una sección de control o la introducción del fluido en una masa de agua. Pueden permitir además cambios en la dirección del flujo de acuerdo con el trazado definido por la conducción, para finalmente continuar por el canal y/o túnel, aguas abajo, con un flujo tranquilo.

A continuación en la FIGURA 1.1 se representa un esquema del Pozo de Bandejas, según se recomienda en el Plan Maestro de Alcantarillado de Quito.

**FIGURA 1.1**  
**ESQUEMA DEL POZO DE BANDEJAS**



ELABORACION DE: Paúl León

El pozo de bandejas, si es posible que llegue a ser sustentado con un sólido marco teórico de diseño, puede constituir una solución para vencer las diferencias de nivel significativas que generalmente se presentan en las redes de alcantarillado.

Los pozos de bandejas son estructuras que pueden competir con la ventaja comparativa frente a los clásicos disipadores de energía, tales como: cuencos o estanques amortiguadores, canales con perfil hidrodinámico, rápidas, etc., que tienen un desarrollo longitudinal mayor no competitivo con el planteado en el pozo de bandejas.

### **1.2.2 DISIPACIÓN DE ENERGÍA HIDRÁULICA**

El presente proyecto de titulación tiene como temática analizar y evaluar el proceso de disipación de energía y de los fenómenos hidráulicos que se presentan en los diferentes niveles horizontales que se establecen dentro de la estructura, denominados pozo de bandejas.

Uno de los procesos de disipación de energía eficientes es el que se obtiene en la formación del clásico resalto hidráulico confinado entre dos secciones hidráulicas de control, que a su vez establecen un volumen de control, en el cual se aplican los teoremas o principios de la Hidromecánica. Proceso que se trata de verificar en cada bandeja de la estructura hidráulica propuesta

La disipación de energía se produce por la combinación de los diferentes fenómenos que se presentan en la modelación de la estructura, tales como: aireación del flujo, cambio brusco de dirección del flujo, formación de resalto hidráulico, entre otros.

### 1.3 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA EN LA QDA. CUSCUNGO

La estructura en análisis y ensayo en laboratorio está construida en la Qda. Cuscungo de hormigón armado, se encuentra en el barrio Argelia, ubicación Puengasí - Peaje autopista General Rumiñahui, con coordenadas E501759.571 y N9975070.677, a una elevación de 2820 m.s.n.m. Pertenece al colector marginal: línea ferrocarril. Los datos son obtenidos de los planos entregados a la EMAAP-Q por parte de la empresa Hidrosan.

La estructura hidráulica mencionada se puede definir como un pozo de dos bandejas, con una pantalla de impacto a la salida del flujo y que vence una caída libre de agua de gran altura.

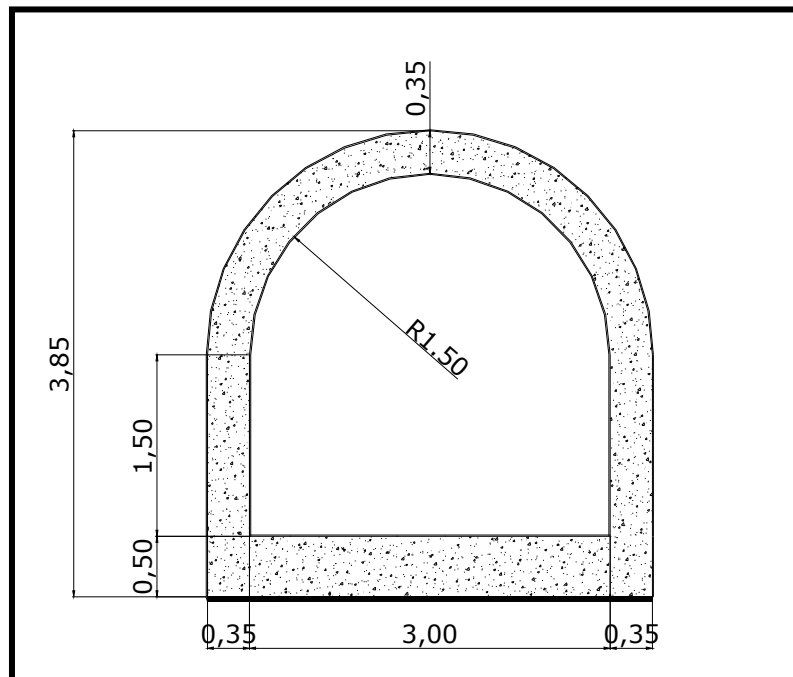
Los principales componentes de la estructura son:

**Canal de aproximación** es la conducción en túnel tipo baúl, por la cual se conduce un caudal de 18.83 m<sup>3</sup>/s con una pendiente del 0.5 % en una longitud de 28.43 m. Las dimensiones de la sección transversal de la conducción se presentan en la FIGURA 1.2:

**Pantalla de impacto** es la estructura de hormigón armado localizada en forma transversal y perpendicular al canal de aproximación, ubicado aproximadamente a 2 m del mismo; creada con la finalidad de que el flujo choque contra esta y caiga en la primera bandeja.

**Bandejas** son estructuras horizontales ubicadas en el interior del pozo, separadas por alturas definidas entre si. Las cuales pretenden interceptar la caída libre del flujo en cada nivel de bandejas; definiendo un proceso de disipación de energía en cada una de ellas.

**FIGURA 1.2**  
**DIMENSIONES DE LA SECCIÓN DE LA CONDUCCIÓN TIPO BAÚL**



ELABORACION DE: Paúl León

**Canal de salida** es la conducción de alcantarillado al final del pozo de bandejas, que debe llevar el caudal con flujo uniformizado y tranquilo.

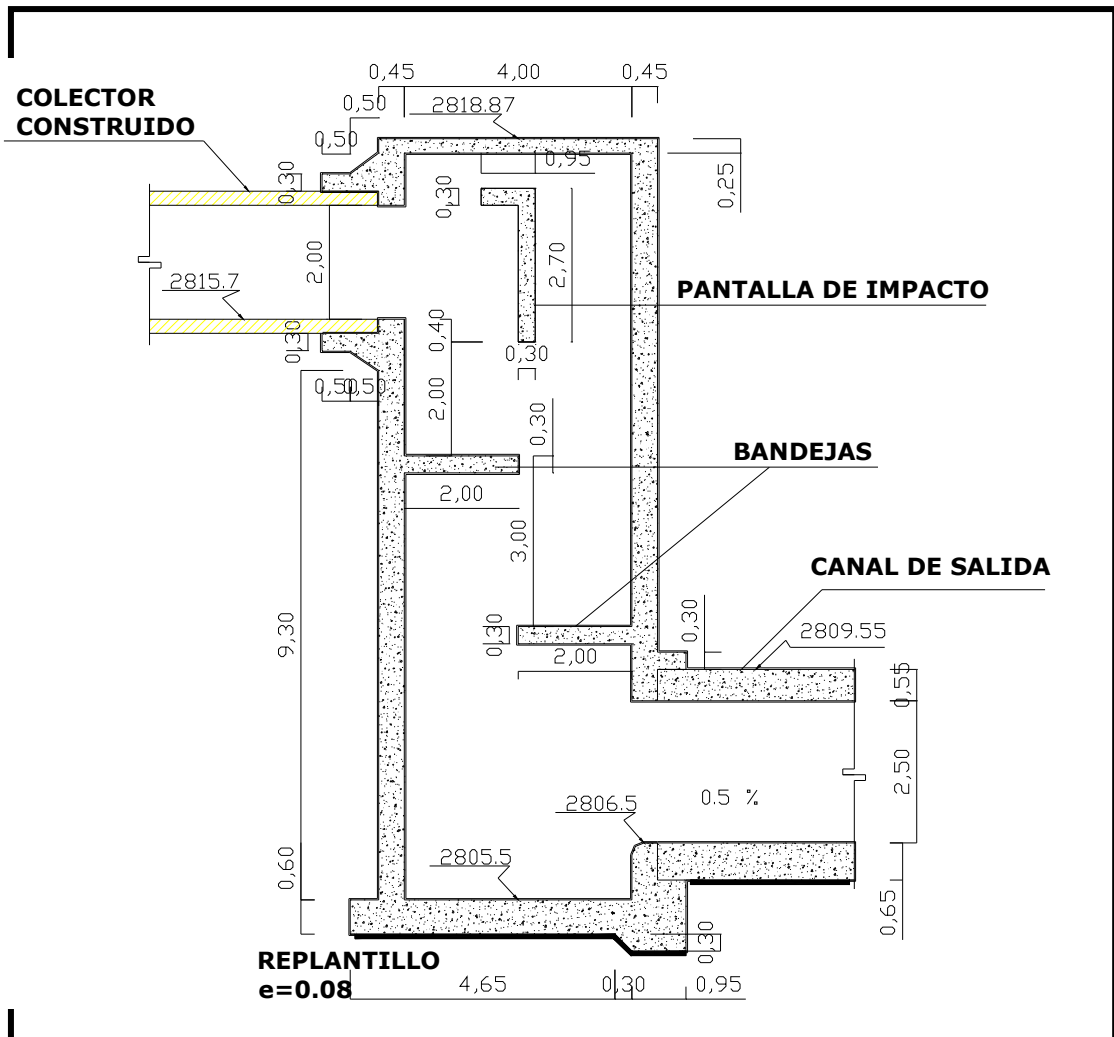
Las dimensiones y los elementos descritos se presentan en la FIGURA 1.3:

#### **1.4 SÍNTESIS DE LOS PROBLEMAS HIDRÁULICOS**

En base al “**Estudio Experimental sobre las Estructuras de Disipación de Energía en Pozos de Bandejas**”, la conclusión más relevante luego de que ha sido investigado este tipo de estructuras en laboratorio, es que la disipación de energía es mínima. De acuerdo a este estudio se describe el funcionamiento de los diferentes elementos y fenómenos, de la siguiente manera:

**FIGURA 1.3**

## CORTE DEL POZO DE BANDEJAS QDA. CUSCUNGO



ELABORACION DE: Paúl León

- **Pantalla de impacto**, no tiene un efecto determinante en la disipación de energía; para caudales mínimos el flujo pasa de la primera bandeja directamente a la base del pozo sin chocar contra la pantalla, y para caudales máximos ejerce un funcionamiento parcial.
- **Introducción de aire y riesgo de cavitación**, “la interrelación estructura y fluido agua es aleatorio, no se impone ningún patrón estable aun para la condición de caudal constante del sistema, que se ve agravada por la presencia de núcleos de aire en el medio agua que muy

fácilmente pueden definir condiciones de cavitación en el sistema prototipo”<sup>1</sup>.

- **Disipación global de la energía**, “es mínima, pues se ha observado que no existe patrones de flujo estables”<sup>2</sup>.
- **Entrega del caudal en el conducto horizontal inferior**, “se mantiene un flujo totalmente inestable, con presencia de aire y altas velocidades en la entrega, como ondas variables a lo largo del canal, observándose claramente que la disipación de energía es mínima.”<sup>3</sup>.

El paso directo del flujo desde el canal de aproximación a la base del pozo, puede generar la presencia de fenómenos como socavación, o colapso parcial o total de la estructura.

- 
1. Padilla y Torres. (2004). Estudio Experimental sobre las Estructuras de Disipación de Energía, Tesis de la E.P.N. director Dr. Ing. Marco Castro, Quito, Ecuador.
  2. Padilla J. y Torres T. (2004). Estudio Experimental sobre las Estructuras de Disipación de Energía, Tesis de la E.P.N. director Dr Marco Castro, Quito, Ecuador.

3. Padilla J. y Torres T. (2004). Estudio Experimental sobre las Estructuras de Disipación de Energía, Tesis de la E.P.N. director Dr Marco Castro, Quito, Ecuador.

## **CAPITULO 2.**

### **2. RESUMEN DE LA INVESTIGACIÓN SOBRE EL DISEÑO ORIGINAL**

En el Laboratorio de Ciencias del Agua de la Escuela Politécnica Nacional, se construyó y analizó dos estructuras creadas como una solución para disipar energía, denominadas Pozos de Bandejas.

El primer Pozo de Bandejas es un modelo de una obra hidráulica construida por la EMMAP-Quito, el cual está descrito en el acápite 1.3 del capítulo anterior, y consta de dos bandejas. Esta estructura ensayada en el laboratorio consta de dos niveles de bandejas y una pantalla de impacto al final del canal de aproximación, como se muestra en la FIGURA 2.1.

El segundo Pozo de Bandejas es un prototipo concebido en laboratorio, que consta de seis niveles de bandejas, como se muestra en la FIGURA 2.2.

#### **2.1 ANÁLISIS DIMENSIONAL Y SIMILITUD DINÁMICA RESTRINGIDA**

El análisis dimensional es un método matemático que permite relacionar los parámetros que intervienen en los fenómenos hidráulicos y analizar su adecuada representación en modelos físicos ensayados en laboratorio; además permite también realizar una síntesis adecuada de fuerzas predominantes en el fenómeno de manera ordenada y coherente.



### 2.1.1 TEOREMA $\pi$ O DE BUCKINGHAM

En un sistema de medida con **(m)** magnitudes fundamentales, al considerar un fenómeno físico en el que intervienen **(r)** parámetros o magnitudes **(A)**, matemáticamente se puede plantear según el análisis matemático la función genérica que representa el fenómeno físico por:

$$f(A_1, A_2, A_3, \dots, A_r) = 0$$

Las magnitudes físicas  $A_i$  inherentes a un fenómeno físico pueden ser expresadas en términos de **(m)** dimensiones fundamentales de medida [L, M, T] en el sistema absoluto C.G.S. o [L, F, T] en el sistema gravitacional M.K.S., y si se aplica el teorema  $\pi$  la función genérica del análisis puede expresarse de la forma:

$$f(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{r-m}) = 0$$

Los  $(r-m)$  parámetros  $\pi_i$  tienen la propiedad de ser funciones independientes, monómicas y adimensionales entre sí, además son los productos de grupos distintos de las potencias de  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_r$ , de la forma:

$$\pi_i = A_1^{k_1} A_2^{k_2} A_3^{k_3} \dots A_r^{k_r}$$

### 2.1.2 CRITERIOS DE SIMILITUD

**SIMILITUD MECÁNICA**, “dos sistemas son mecánicamente semejantes (prototipo y modelo), cuando a más de serlo geoméricamente, las magnitudes físicas referentes a puntos homólogos (velocidades, aceleraciones, tiempos, fuerzas, etc.) están en relaciones fijas y acordes”<sup>1</sup>.

En la practica no existe semejanza hidráulica absoluta de un fenómeno. Se asume que existe similitud entre modelo y prototipo cuando se alcanza las siguientes similitudes:

- Similitud geométrica
- Similitud cinemática
- Similitud dinámica

**SIMILITUD GEOMÉTRICA**, “Implica similitud de forma, un modelo es geoméricamente similar al prototipo si las razones de todas las longitudes del prototipo (  $L_p$  ) son homólogas en el modelo (  $L_m$  ). Esta relación se denomina escala del modelo”<sup>2</sup>.

$$e_L = \frac{L_p}{L_m}$$

**SIMILITUD CINEMÁTICA**, La similitud cinemática de un modelo y un prototipo se logra si el campo de velocidades y aceleraciones están en relaciones fijas y acordes; definiéndose las escalas correspondientes, esto es:

$$e_v = \frac{e_L}{e_T}$$

---

1. Poveda, Rafael. (2005). Optimización de las Estructuras de Disipación de Energía en Pozos de Bandejas, Tesis de Posgrado de la E.P.N. director Dr. Ing. Marco Castro, Quito, Ecuador.

2. Padilla y Torres. (2004). Estudio Experimental sobre las Estructuras de Disipación de Energía, Tesis de la E.P.N. director Dr. Ing. Marco Castro, Quito, Ecuador.

**SIMILITUD DINÁMICA**, Implica similitud de fuerzas. Un modelo es dinámicamente similar a un prototipo si se cumple la similitud cinemática y además todas las fuerzas dinámicas: inerciales, internas, gravitacionales, elásticas, viscosas, etc. están en la misma relación o escala en los dos sistemas (modelo y prototipo).

La similitud dinámica total es físicamente imposible alcanzarla, no así la similitud geométrica y cinemática que se alcanza en la generalidad de los fenómenos.

En el campo de la investigación es difícil satisfacer todas las condiciones. Es frecuente y físicamente posible, dar prioridad o identificar las fuerzas más importantes que condicionan el fenómeno hidráulico en el prototipo y representarlas en el modelo a través de la identificación de uno de los parámetros adimensionales que representan dichas fuerzas, que pueden ser el número de Froude ( $Fr$ ), número de Reynolds ( $Re$ ), número de Weber ( $W$ ) o el número de Mach ( $M$ ) que tienen relación directa con las fuerzas de gravedad ( $\gamma$ ), viscosidad ( $\mu$ ), tensión superficial ( $\sigma$ ) y elasticidad ( $E$ ).

Para flujos a superficie libre en estructuras que presentan cambios de dirección y/o nivel; las fuerzas preponderantes son las gravitacionales y con una influencia mínima de las fuerzas viscosas. Siendo estas últimas despreciables si se logra en el modelo o prototipo un grado de turbulencia representativo, con adecuada aireación y baja rugosidad, conservando la lamina de agua adherida al contorno de la estructura.

### **2.1.3 HIPÓTESIS PARA EL ANÁLISIS DIMENSIONAL**

Las hipótesis para el análisis dimensional, son:

- I. Rugosidad mínima en la estructura.
- II. Turbulencia completamente desarrollada.
- III. Fenómeno ausente de la influencia de fuerzas de tensión superficial.
- IV. Fluido incompresible.

## 2.1.4 MAGNITUDES Y PARÁMETROS INVOLUCRADOS

### 2.1.4.1 Parámetros Geométricos

Calados medidos en el canal	$Y_i$ (m)
Calado crítico	$Y_c$ (m)
Calados medidos en las bandejas	$Y_{ij}$ (m)
Altura de energía definida en cada bandeja	$H_{oij}$ (m)

### 2.1.4.2 Parámetros del Fluido

Densidad del fluido	$\rho$ ( $ML^{-3}$ )
---------------------	----------------------

### 2.1.4.3 Parámetros Dinámicos

Viscosidad	$\mu$ ( $ML^{-1}T^{-1}$ )
Tensión superficial	$\sigma$ ( $MT^{-2}$ )
Peso específico	$\gamma$ ( $ML^{-2}T^{-2}$ )
Módulo de elasticidad	$E$ ( $ML^{-1}T^{-2}$ )
Presión o incremento de presión	$\Delta P$ ( $ML^{-1}T^{-2}$ )

#### 2.1.4.4 Parámetros Cinemáticos

Velocidad de aproximación del flujo  $V (LT^{-1})$

Definidas las magnitudes físicas del fenómeno la función general es:

$$f(Y_i, Y_c, Y_{ij}, Ho_{ij}, \rho, \mu, \sigma, \gamma, E, \Delta p, V) = 0 \quad (2.1)$$

#### 2.1.5 ANÁLISIS POR EL TEOREMA DE BUCKINGHAM

Número de magnitudes  $r = 11$

Número de magnitudes fundamentales  $m = 3$

Números  $\pi$   $r - m = 8$

La ecuación 2.1 se expresa mediante el teorema  $\pi$  de la siguiente forma:

$$f(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8) = 0 \quad (2.2)$$

La expresión de los dimensionales  $Y_i, V$ , etc., con sus respectivos exponentes en base a las dimensiones fundamentales. Representados en la tabla 2.1

**TABLA 2.1**  
**MATRIZ TEOREMA BUCKINGHAM**

	<b>L</b>	<b>M</b>	<b>T</b>
<b>Y<sub>i</sub></b>	1	0	0
<b>V</b>	1	0	1
<b><math>\rho</math></b>	-3	1	0
<b>Y<sub>c</sub></b>	1	0	0
<b>Y<sub>ij</sub></b>	1	0	0

<b>H<sub>oij</sub></b>	1	0	0
<b>μ</b>	-1	1	-1
<b>σ</b>	0	1	-2
<b>γ</b>	-2	1	-2
<b>E</b>	-1	1	-2
<b>ΔP</b>	-1	1	-2

Para obtener los números  $\pi$  se emplea el siguiente procedimiento:

$$\pi = Y_i^{k_1} V^{k_2} \rho^{k_3} h_i^{-1} \quad (2.3)$$

Donde:

$k_1, k_2, k_3 \rightarrow$  valores de los exponentes a determinarse

$h_i \rightarrow$  dimensional de cada una de las magnitudes no consideradas en la característica de la matriz.

El dimensional  $h_i$  se eleva a la  $-1$  como artificio matemático para obtener la inversión del número  $\pi$  que facilita su manejo.

Se determina los números  $\pi$  a continuación:

$$\pi_1 = \frac{Y_i}{Y_c}$$

$$\pi_2 = \frac{Y_i}{Y_{ij}}$$

$$\pi_3 = \frac{Y_i}{H_{o_i}}$$

$\pi_4 = \frac{V^2}{\gamma / \rho Y_i}$	Número $\pi$ de Euler (Eu)
$\pi_5 = \frac{V^2}{\gamma / \rho Y_i}$	Número $\pi$ de Froude (Fr)
$\pi_6 = \frac{V Y_i}{\mu / \rho}$	Número $\pi$ de Reynolds (Re)
$\pi_7 = \frac{V^2 Y_i}{\sigma / \rho}$	Número $\pi$ de Weber (We)
$\pi_8 = \frac{V^2}{E / \rho}$	Número $\pi$ de Mach (Ma)

Sustituyendo estos valores en la ecuación 2.2, se llega a la función genérica:

$$0 = \Phi_0 \left[ \frac{Y_i}{Y_c}, \frac{Y_i}{Y_{ij}}, \frac{Y_i}{Ho_{ij}}, Eu, Fr, Re, We, Ma \right] \quad (2.4)$$

Las siguientes funciones genéricas se obtienen de la rotación de los parámetros en la matriz base.

$$0 = \Phi_1 \left[ \frac{Y_c}{Y_i}, \frac{Y_c}{Y_{ij}}, \frac{Y_c}{Ho_{ij}}, Eu, Fr, Re, We, Ma \right] \quad (2.5)$$

$$0 = \Phi_2 \left[ \frac{Y_{ij}}{Y_i}, \frac{Y_{ij}}{Y_c}, \frac{Y_{ij}}{Ho_{ij}}, Eu, Fr, Re, We, Ma \right] \quad (2.6)$$

$$0 = \Phi_3 \left[ \frac{Ho_{ij}}{Y_i}, \frac{Ho_{ij}}{Y_{ij}}, \frac{Ho_{ij}}{Y_c}, Eu, Fr, Re, We, Ma \right] \quad (2.7)$$

Estas funciones se pueden expresar mediante la genérica:

$$0 = \Phi_i \left[ \frac{Y_i}{Y_c}, \frac{Y_i}{Y_{ij}}, \frac{Y_i}{Ho_{ij}}, \frac{Y_{ij}}{Y_c}, \frac{Y_{ij}}{Ho_{ij}}, \frac{Y_{ij}}{Ho_{ij}}, Eu, Fr, Re, We, Ma \right] \quad (2.8)$$

El agua se define como un fluido de densidad constante e incompresible, por lo cual el número  $\pi$  de Mach puede despreciarse.

La tensión superficial es despreciable, debido a que el rango de velocidades y calados ensayados se encuentran sobre los valores de los 3 cm, en donde se puede presentar este fenómeno; enunciado disponible en el manual de **“Introducción a la teoría de modelos hidráulicos y aplicaciones básicas”** proporcionado por el departamento de Hidráulica de la E.P.N., por lo cual el número  $\pi$  de Weber puede no considerarse para efecto de análisis.

El flujo al presentar un grado de turbulencia completamente desarrollado, presenta una influencia viscosa despreciable. A pesar que existe disipación de energía al chocar el flujo contra la estructura, el efecto de la fricción es muy pequeña; por lo cual el número  $\pi$  de Reynolds puede no considerarse.

De lo expuesto el número de Froude gobierna el fenómeno de flujo en las bandejas y este será el referente en el proceso de tratamiento de la información y presentación de resultados.

La función genérica entonces puede expresarse por:

$$0 = \Phi_i \left[ \frac{Y_i}{Y_c}, \frac{Y_i}{Y_{ij}}, \frac{Y_i}{Ho_{ij}}, Fr \right] \quad (2.9)$$

$$0 = \Phi_i \left[ \frac{Y_i}{Y_c}, \frac{Y_{ij}}{Y_c}, \frac{Ho_{ij}}{Y_c}, Fr \right] \quad (2.10)$$

## 2.2 PLAN DE PRUEBAS EN EL MODELO DE DOS BANDEJAS



Se ha previsto la realización de pruebas en el modelo hidráulico que abarque la siguiente gama de caudales. Con el objeto de investigar el funcionamiento de la estructura se han realizado pruebas para cinco caudales representativos:

- Prueba No: 1, caudal  $Q = 138.61$  l/s.
- Prueba No: 2, caudal  $Q = 118.68$  l/s.
- Prueba No: 3, caudal  $Q = 96.46$  l/s.
- Prueba No: 4, caudal  $Q = 53.84$  l/s.
- Prueba No: 5, caudal  $Q = 12.76$  l/s.

En el **“Estudio Experimental sobre las Estructuras de Disipación de Energía en Pozos de Bandejas”** realizado en el laboratorio de Ciencias del Agua de la E.P.N. se describe: para el rango de caudales ensayados, en los caudales bajos el fluido al llegar al final del canal de entrada pasa directamente al nivel siguiente de bandeja, pasando a caudales altos para los cuales el fluido choca parcialmente contra la pantalla de impacto donde existe poca eficiencia de disipación de energía por impacto.

El procedimiento de medición se realiza de la siguiente manera para establecer el comportamiento del pozo de dos bandejas y del flujo de aproximación, como se indica en la FIGURA 2.1:

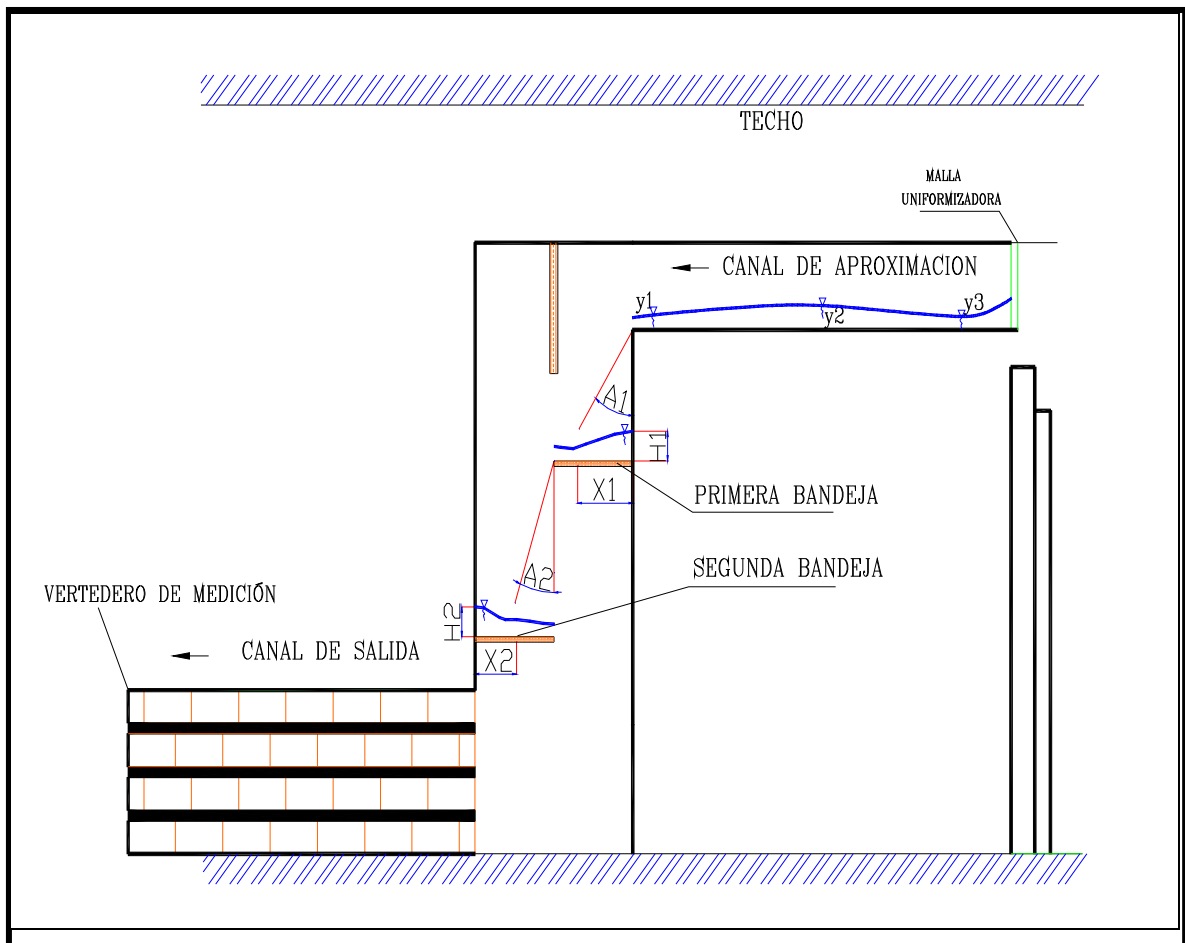
La disipación de energía por impacto y cambio de dirección es mínima en la pantalla de impacto, esta solo actúa para el mayor caudal ensayado; esto se debe a que su ubicación dentro de la estructura no tiene una base teórica fundamentada con ensayos de laboratorio<sup>3</sup>.

---

3. Padilla y Torres. (2004). Estudio Experimental sobre las Estructuras de Disipación de Energía, Tesis de la E.P.N. director Dr. Ing. Marco Castro, Quito, Ecuador.

En las fotografías 2.1, 2.2 y 2.3 se observa el funcionamiento del canal de aproximación y pantalla de impacto respectivamente. Para la estructura en general se observa un deficiente funcionamiento de los diferentes componentes del pozo de bandejas.

**FIGURA 2.1**  
**DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN EN POZO DE DOS BANDEJAS**



FUENTE: Estudio Experimental sobre Estructuras de Disipacion  
MODIFICADO POR: Paúl León

En las fotografías 2.1, 2.2 y 2.3 se observa el funcionamiento del canal de aproximación y pantalla de impacto respectivamente. Para la estructura en general se observa un deficiente funcionamiento de los diferentes componentes del pozo de bandejas.

### **2.3 PLAN DE PRUEBAS EN EL MODELO DE SEIS BANDEJAS**

Se ha previsto la realización de pruebas en el modelo hidráulico que abarque la siguiente gama de caudales. Con el objeto de investigar el funcionamiento de la estructura se han realizado pruebas para cinco caudales representativos:

- Prueba No: 1, caudal  $Q = 13.20$  l/s.
- Prueba No: 2, caudal  $Q = 20.50$  l/s.
- Prueba No: 3, caudal  $Q = 26.90$  l/s.
- Prueba No: 4, caudal  $Q = 54.50$  l/s.
- Prueba No: 5, caudal  $Q = 58.40$  l/s.

#### **FOTOGRAFÍA 2.1 FUNCIONAMIENTO DEL CANAL DE APROXIMACIÓN**



ELABORADO POR: Paúl León

#### **FOTOGRAFÍA 2.2**

## **FUNCIONAMIENTO DE LA PANTALLA DE IMPACTO.**



ELABORADO POR: Paúl León

### **FOTOGRAFÍA 2.3 FUNCIONAMIENTO DE LA PANTALLA DE IMPACTO CUANDO INTER ACTÚA CON EL FLUJO.**



ELABORADO POR: Paúl León

Debido a que en el modelo de dos bandejas la pantalla de impacto no funciona adecuadamente, en el prototipo de seis bandejas se prescinde de esta estructura inicial de impacto, analizando solo el comportamiento de la estructura en los diferentes niveles de bandejas.

El procedimiento de medición se ha realizado de la siguiente manera para establecer el comportamiento del pozo de seis bandejas y del flujo de aproximación, como se indica en la FIGURA 2.2:

Para el canal de aproximación, se toma para el análisis como calados representativos el y3 y y4.

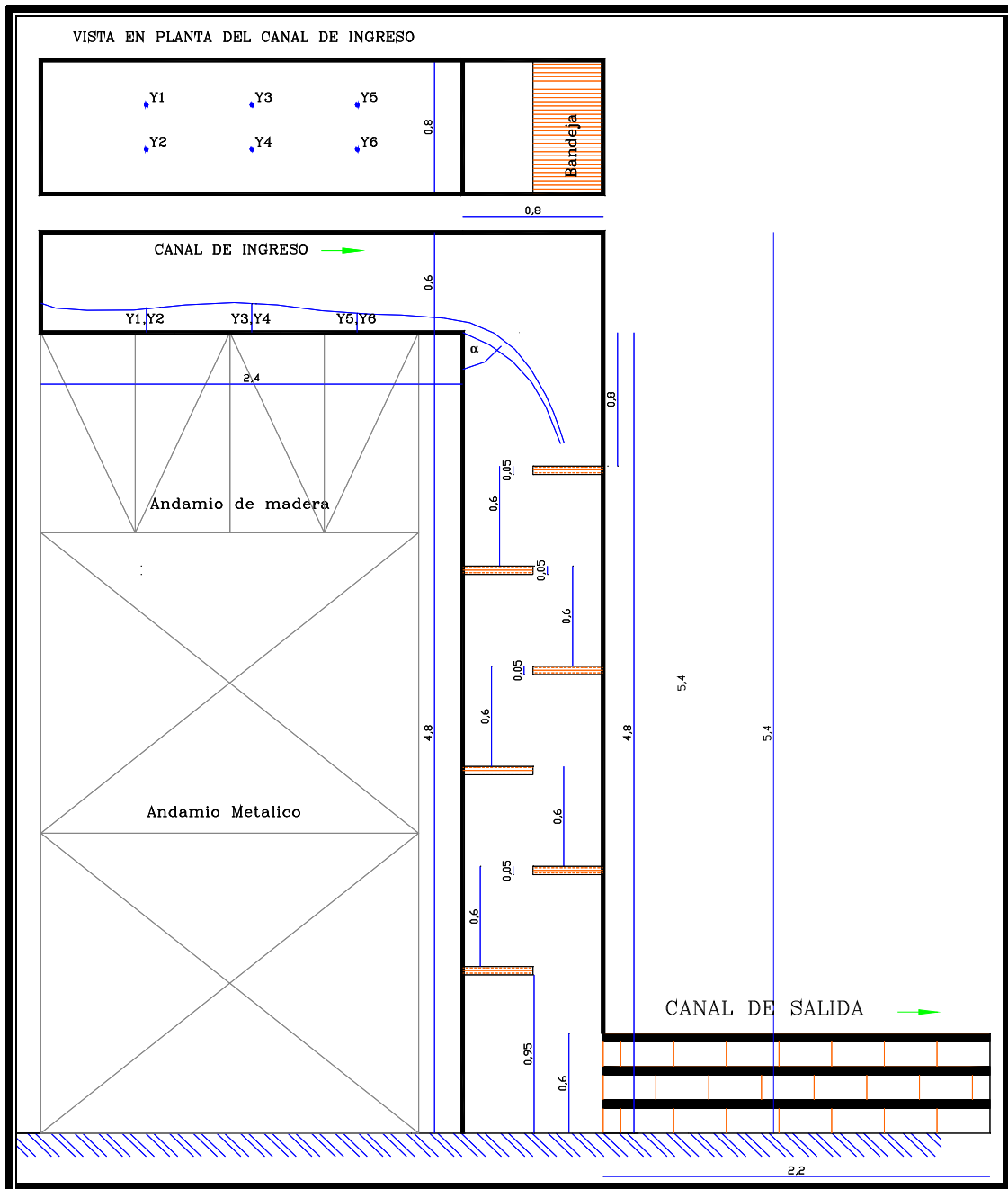
De igual manera que para el modelo de dos bandejas, la disipación de la energía en el prototipo es mínima. En las fotografías 2.4 y 2.5 se observa el paso brusco del flujo de un nivel a otro, provocando vibraciones en las paredes de la estructura<sup>4</sup>.

---

4. Poveda, Rafael. (2005). Optimización de las Estructuras de Disipación de Energía en Pozos de Bandejas, Tesis de Posgrado de la E.P.N. director Dr. Ing. Marco Castro, Quito, Ecuador.

**FIGURA 2.2**

## DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN EN POZO DE SEIS BANDEJAS



FUENTE: Estudio Experimental sobre Estructuras de Disipacion  
MODIFICADO POR: Paúl León

**FOTOGRAFÍA 2.4**  
**VISTA LATERAL DEL FUNCIONAMIENTO DEL POZO DE 6 BANDEJAS.**



ELABORADO POR: Paúl León

**FOTOGRAFÍA 2.5**  
**VISTA FRONTAL DEL FUNCIONAMIENTO DEL POZO DE 6 BANDEJAS**



ELABORADO POR: Paúl León

## 2.4 SÍNTESIS DE LAS OBSERVACIONES

En el modelo de dos bandejas –Qda. Cuscungo-, se realizaron pruebas y ensayos en el “**Estudio Experimental sobre las estructuras de disipación de energía en pozos de bandejas**”, el cual ha determinado que las estructuras tienen un grado de disipación de energía mínimo.

En el modelo la pantalla de impacto no funciona hidráulicamente como estructura inicial de impacto del pozo. El canal de aproximación no permite la



necesaria estabilidad del flujo, por no tener una suficiente longitud. Se observó además que la introducción de aire aumenta cuando se aumenta el caudal.

De acuerdo a las mediciones realizadas, en el estudio mencionado en el primer párrafo, en el laboratorio de Hidráulica del Departamento de Ciencias del Agua de la Escuela Politécnica Nacional, se puede observar que la presencia de la pantalla de impacto no tiene efecto para caudales pequeños, ya que no existe contacto alguno entre el fluido y la pantalla.

## **2.5 CONCLUSIONES**

Para la geometría inicial propuesta por el Plan Maestro de Alcantarillado de Quito, “la disipación de energía ensayada en el pozo de bandejas es mínima ya que se limita a disipaciones puntuales por impacto de chorros en las paredes del pozo. En las bandejas y por cambios de dirección, que en ningún caso son permanentes o estacionarios que definan un patrón constante de flujo; el flujo de agua al final del pozo tiene una energía cinética grande, que ratifica el bajo rendimiento de disipación en el pozo de bandejas”<sup>6</sup>.

Los impactos del flujo contra la estructura pueden provocar grandes vibraciones, las cuales son absorbidas por la misma estructura. Esto influye en el diseño estructural de los pozos de bandejas directamente en sus dimensiones geométricas.

La pantalla de impacto tiene una función muy limitada, para caudales mínimos no tiene incidencia, y para caudales máximos direcciona inadecuadamente el flujo.

Además para el modelo la entrega de caudal al final de la estructura se mantiene con un flujo inestable con presencia de aire y grandes velocidades, lo que dificulta la medición de caudales en la zona de aguas abajo.

La disipación de energía en las dos estructuras ensayadas en el laboratorio es deficiente, debido a esto deben ser objeto de un mayor estudio y análisis; por lo cual en los siguientes dos capítulos se describen y analizan las pruebas de laboratorio realizadas a cada uno de los pozos con una variación en la geometría de sus niveles horizontales denominados bandejas.

### **CAPITULO 3.**

### **3. VARIANTE DEL FLUJO VERTICAL EN LABERINTO: VARIANTE No. 1**

#### **3.1 BASES DE DISEÑO HIDRODINÁMICO**

Las bases de diseño están directamente relacionadas con las características del flujo, tales como: disipación de energía, caudal, calados de aproximación, adecuada aireación, etc. Según recomendaciones de la EMMAP-Q para el dimensionamiento geométrico de las estructuras o componentes de los disipadores de energía con flujo vertical en laberinto se consideran básicamente el caudal de aproximación y la diferencia de nivel a vencer.

##### **3.1.1 CAUDAL DE DISEÑO**

Según la EMAAP-Q el dimensionamiento de los pozos de bandejas tienen como principal base de diseño el caudal.

Se tomará como caudal de diseño al caudal de conducción en el sistema de alcantarillado o denominado para el presente proyecto de titulación caudal de aproximación, el cual estará relacionado con los parámetros hidrológicos e hidráulicos que intervienen en el diseño de la conducción para el túnel de alcantarillado.

##### **3.1.2 DESNIVEL A VENCER**

Los parámetros que intervienen son la diferencia de niveles entre bandejas que permiten dividir el desnivel total a vencer en tramos más cortos, para disipar energía en cada dominio hidráulico que definen cada una de las bandejas.

A continuación los valores de los parámetros de diseño para alcantarillado de la EMAAP-Q, según la comisión técnica de consultoría año 2000:

V.mín a tubo lleno.....	0,90 m/s
V.mín de auto limpieza.( Para Q sanitario).....	0,60 m/s
V. máxima de diseño en tuberías de hormigón.....	6,00 m/s
V. máxima de diseño en colectores, de hormigón armado, y tuberías termoplásticas o PVC.....	9,00 m/s

### **3.2 DIMENSIONAMIENTO GEOMÉTRICO DE LAS ESTRUCTURAS**

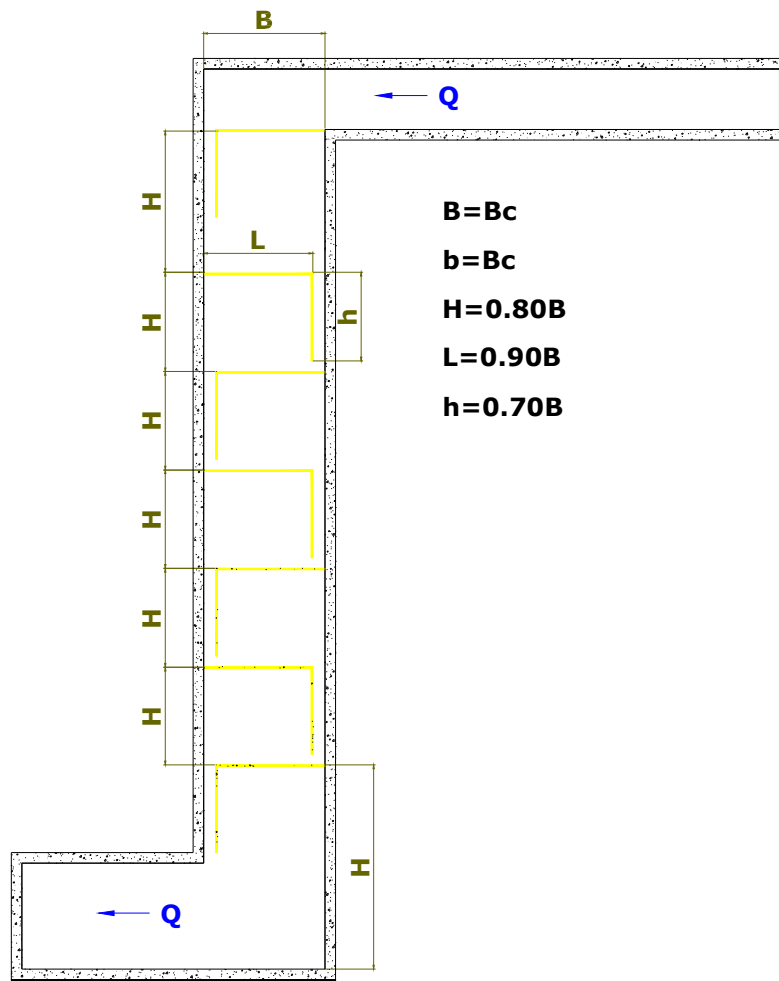
A continuación se presentan los principales parámetros geométricos:

- Ancho **B** del pozo
- Altura **H** entre bandejas
- Longitud **L** de las bandejas
- Altura **h** de las bandejas

Se trata de un pozo de sección transversal cuadrada por lo cual el ancho  $B_c$  del canal es el mismo para el ancho  $B$  del pozo y para el ancho  $b$  de la bandeja. Las bandejas están diseñadas en forma de L, las cuales están dimensionadas en base a una dependencia del ancho  $B$  del pozo, como se presenta en la FIGURA 3.1, a continuación:

**FIGURA 3.1  
DIMENSIONAMIENTO DEL POZO EN LABERINTO**





ELABORACION DE: Paúl León

Las relaciones de laboratorio para dimensionar geoméricamente estas estructuras, son en general como se describe a continuación:

**ANCHO “B” DEL POZO**, es la dimensión del pozo en la misma dirección del flujo de entrada. La sección transversal del pozo es rectangular cuadrada y delimita el contorno dentro del cual se encuentran las bandejas alternadas. Este ancho para diseño se toma como el ancho del canal de aproximación, para evitar cambios de sección en la conducción.

**ALTURA “H” ENTRE BANDEJAS**, altura entre cada bandeja, se la puede calcular en función del ancho B y se mantiene la misma dimensión para todas las bandejas.

$$H = (0.80 \text{ a } 1.00) B \text{ (m)}$$

**LONGITUD “L” DE BANDEJAS**, se refiere a la longitud transversal al flujo que deberá tener cada bandeja del pozo, se calcula en función del ancho B y se mantiene la misma dimensión para todas las bandejas.

$$L = 0.90 B$$

**LONGITUD “h” DE BANDEJAS**, se refiere a la longitud en la dirección a la caída del flujo que permite emplazar cada bandeja del pozo, se define en función del ancho B y se mantiene la misma dimensión para todas las bandejas.

$$h = 0.70 B$$

El área de descarga es del 10 % del área del ancho del pozo.

### **3.3 PLAN DE PRUEBAS**

El plan de pruebas del prototipo a analizar tiene por objeto tomar las medidas de los parámetros necesarios, tales como: Niveles, calados, etc. con la finalidad de disponer de la información necesaria que permita un análisis para llegar a conclusiones sobre el funcionamiento de la estructura.

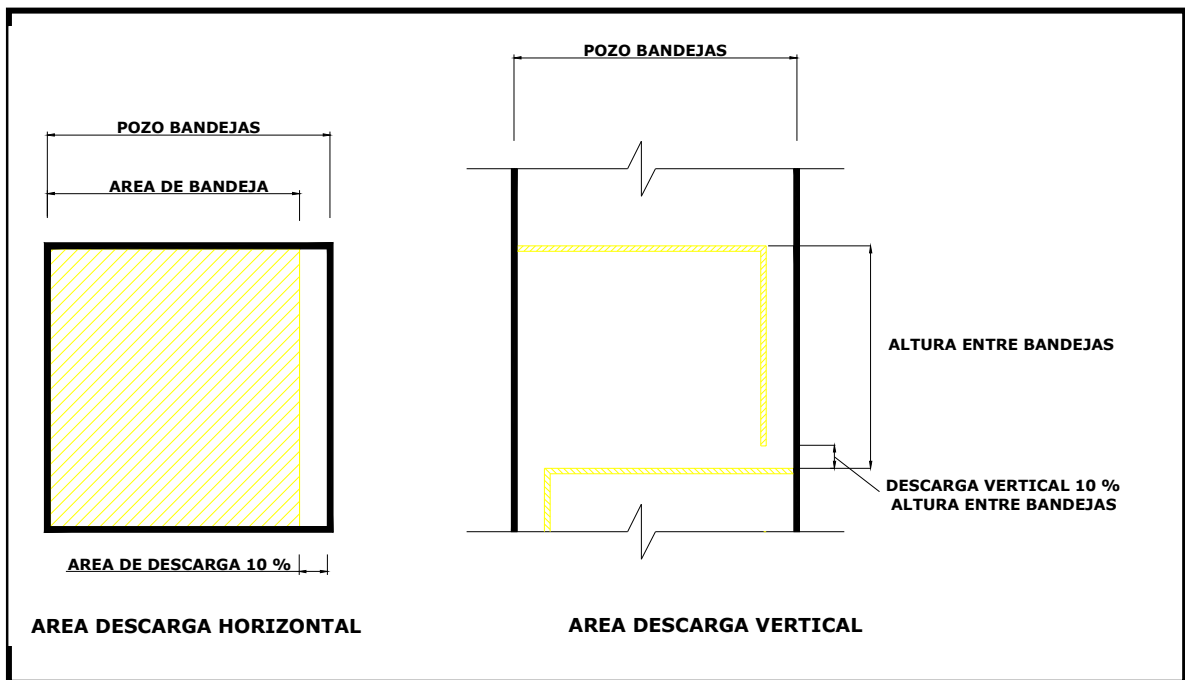
En el Anexo 3, se encuentran los cálculos, tablas y relaciones para los diferentes caudales ensayados en el pozo en laberinto de bandejas.

- Prueba No: 1, caudal  $Q = 15.20$  l/s.
- Prueba No: 2, caudal  $Q = 30.00$  l/s.
- Prueba No: 3, caudal  $Q = 50.10$  l/s.
- Prueba No: 4, caudal  $Q = 55.60$  l/s.

- Prueba No: 5, caudal  $Q = 57.70$  l/s.

Las bandejas en su sección horizontal tienen un área de descarga igual al 10 % del área total del pozo; y en su sección vertical del 10 % del área que forma la altura entre bandejas. Ver figura 3.2:

**FIGURA 3.2**  
**AREA DE DESCARGA DE LA BANDEJA TIPO L**



ELABORACION DE: Paúl León

Debido a los valores inconsistentes de las presiones en pruebas anteriores registradas por piezómetros, el procedimiento de medición se ha realizado a cinta, para obtener valores de calados en sitio, ubicados como se indica en la figura 3.3:

### **3.4 ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO PARA DIFERENTES CAUDALES**

### 3.4.1 CANAL DE APROXIMACIÓN Y BANDEJAS

Cada nivel de bandeja tiene como propósito disipar energía mediante la formación de un resalto. El flujo para todos los caudales pasa de bandeja a bandeja a través de un área de descarga colocada al final de cada bandeja.

La función del canal de aproximación es conducir el flujo hacia la primera bandeja. De manera que el flujo sea lo más simétrico y estable.

En la parte final del canal se implantan ranuras similares a las del dissipador con bandejas, de manera que desde su inicio se imponga un patrón de flujo similar al que ya se tiene en cada una de las bandejas.

- Canal de aproximación, 4 ejes transversales de medición.
- Para cada bandeja, un eje de medición al inicio, en la mitad y al final de las mismas, como se indica en la FIGURA 3.3:

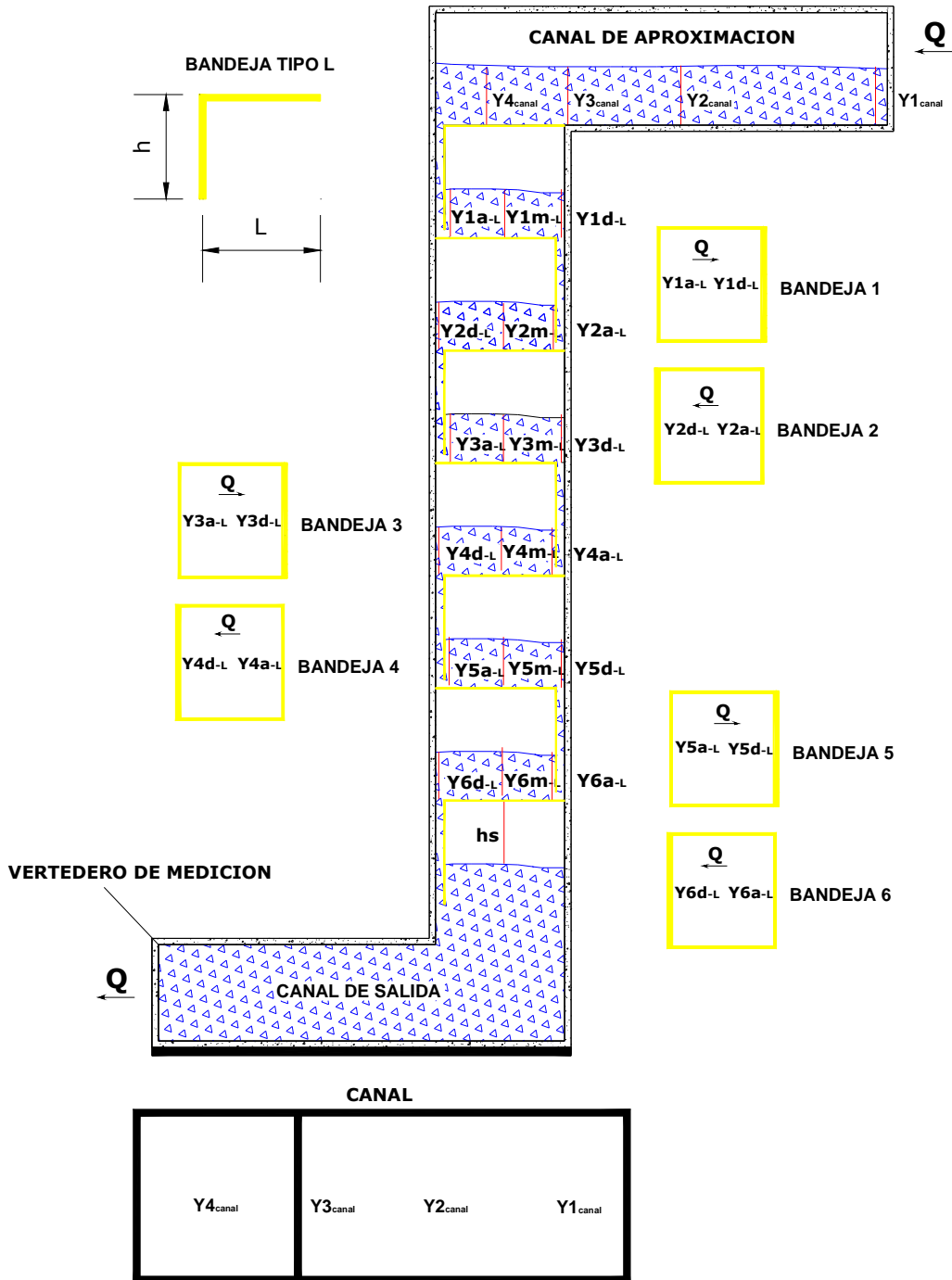
Para el análisis hidráulico se toma en cuenta preferiblemente los calados al inicio y al final de cada bandeja, porque en su área de influencia, el flujo forma un colchón de agua. Además se calculará el Froude, la energía específica, velocidades, calados críticos, mediante estos calados.

Se definirá con la ecuación de Chezy el calado normal y la velocidad media.

**FIGURA 3.3**  
**DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN EN LA ESTRUCTURA POZO**  
**LABERINTO**







ELABORACION DE: Paúl León

El coeficiente de fricción se definirá con la ecuación de Colebrook – White, que sirve en la zona de turbulencia media intermedia, se aplica a la ecuacion universal de Darcy - Weishbach.

$$V = C * \sqrt{R * I} \quad (3.1)$$

$$C = \sqrt{\frac{8g}{f}} \quad (3.2)$$

$$V = \sqrt{\frac{8g}{f}} * R^{\frac{1}{2}} * I^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

$$f \frac{V^2}{8g} * \frac{1}{R} = \frac{\Delta H_f}{L} \quad (3.4)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 * \ln \left[ \frac{\varepsilon / 4R}{3.71} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right] \quad (3.5)$$

$$Re = \frac{V * 4R}{\nu} \quad (3.6)$$

Donde:

$V$  = Velocidad media (m/s)

$C$  = Coeficiente de Chezy

$f$  = Coeficiente de fricción

$R$  = Radio hidráulico (m)

$I$  = Pendiente media del canal

$G$  = Gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = Rugosidad absoluta (m)

$Re$  = Número de Reynolds

$\nu$  = Viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s)

El número de Froude permite establecer el tipo de régimen del flujo, cuando existe un cambio de régimen supercrítico a subcrítico en una misma bandeja se produce el denominado resalto hidráulico; es decir:

$$Fr_1 > 1 \text{ y } Fr_2 < 1 \quad \rightarrow \quad \text{Resalto Hidráulico}$$

Para el cálculo del Fr se utilizó la ecuación:

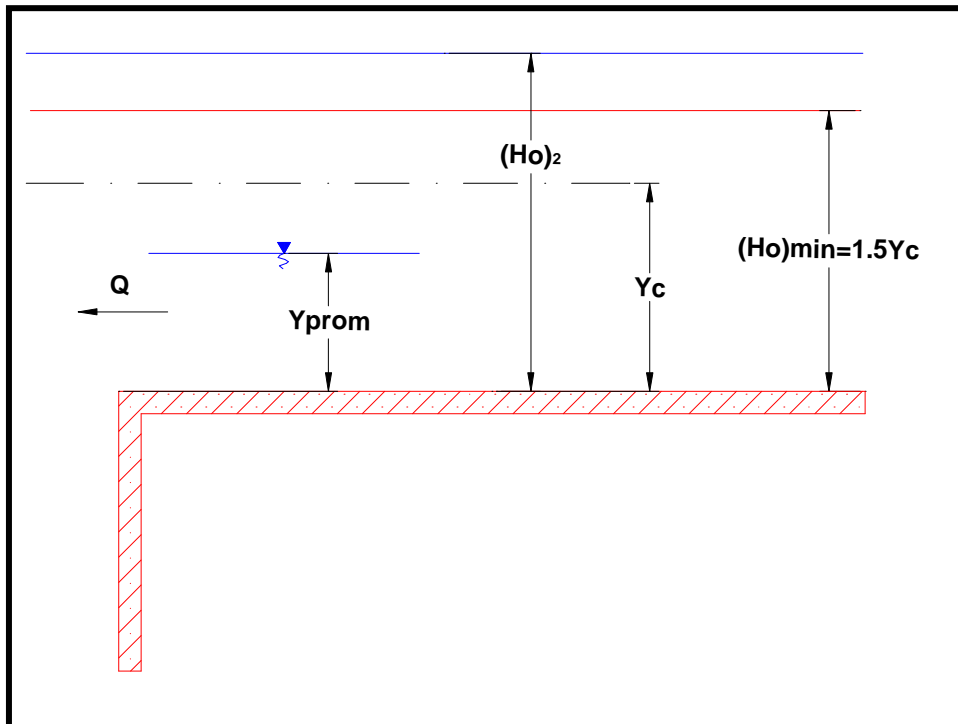
$$Fr = \frac{q}{\sqrt{g * y^3}} \quad (3.7)$$

$Fr$  = Número de Froude

$q$  = Caudal por unidad de ancho ( $m^3/sm$ )

$y$  = calado medido en el canal (m)

**FIGURA 3.4**  
**REPRESENTACIÓN DE CALADOS Y ENERGÍA**

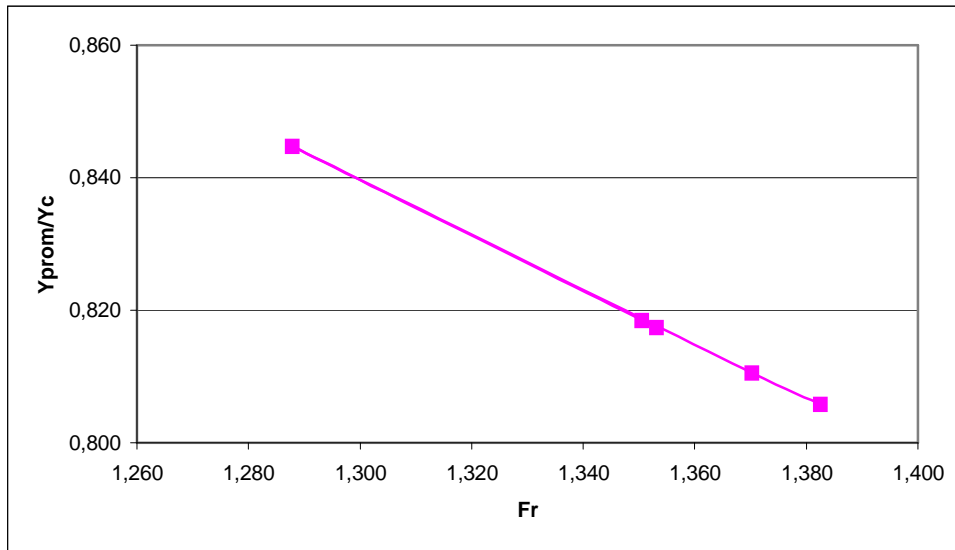


ELABORACION DE: Paúl León

- **Relaciones medidas para el canal de aproximación**

El flujo de aproximación se encuentra en un régimen supercrítico, la relación adimensional de calados tiende a disminuir mientras aumenta el caudal. Esto se puede observar en la FIGURA 3.5

**FIGURA 3.5**  
**RELACIÓN ADIMENSIONAL ENTRE EL CALADO Y EL FR**

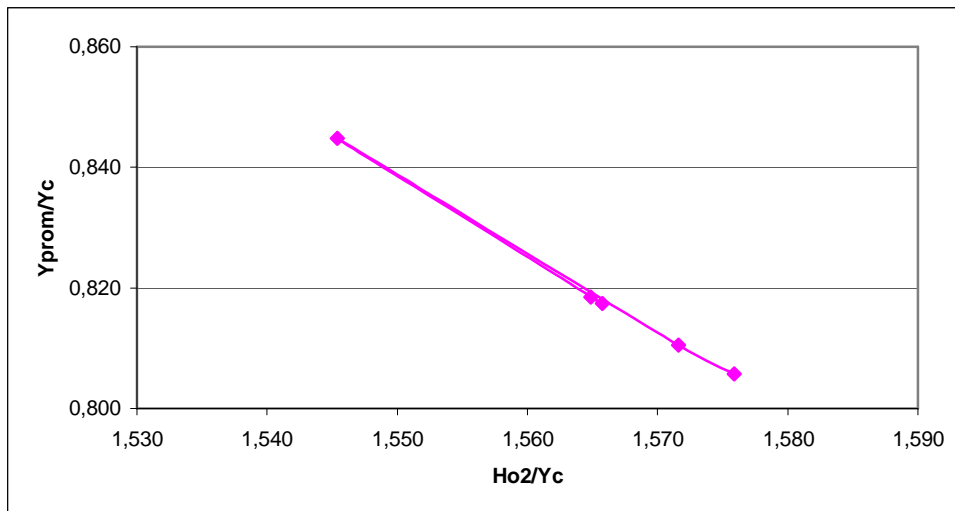


ELABORACION DE: Paúl León

A medida que el caudal aumenta la relación de calados disminuye, ver FIGURA 3.6.

Los cálculos para el fenómeno de flujo que se presenta en el canal de aproximación se encuentran en las tablas 1, 2, 3 del Anexo 3; mientras que las relaciones entre sus parámetros adimensionales que le caracterizan se presentan en las figuras: A 3.5, A 3.6.

**FIGURA 3.6**  
**RELACIÓN ADIMENSIONAL ENTRE EL CALADO Y LA ENERGÍA ESPECÍFICA**



ELABORACION DE: Paúl León

**FOTO 3.1**  
**FLUJO SOBRE CANAL DE APROXIMACIÓN POZO LABERINTO**



ELABORACION DE: Paúl León

- **Relaciones medidas para las bandejas**

Para caudales pequeños la estructura presenta resalto en cuatro de las seis bandejas, el porcentaje de disipación de energía en toda la estructura esta alrededor del 92 %.

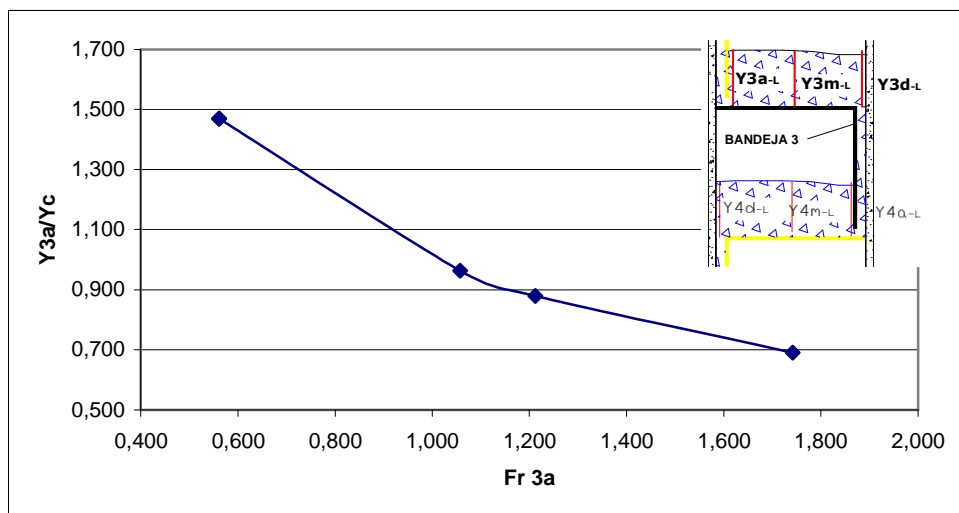
Para caudales medios se presenta resalto en once de doce bandejas, el porcentaje de disipación de energía en la estructura esta entre el 85 y el 89 %.

Para los caudales altos el porcentaje de disipación de energía en toda la estructura esta alrededor del 84 %.

Se logra entregar al canal de salida un flujo con baja velocidad, en un régimen subcrítico, esto permite deducir que la estructura en su conjunto cumple con el objetivo de disipar energía.

A medida que aumenta el caudal la relación adimensional de calados disminuye, y el número de Froude aumenta. La tendencia general entre la relación adimensional entre calados y el número de Froude a. Ver FIGURA 3.7.

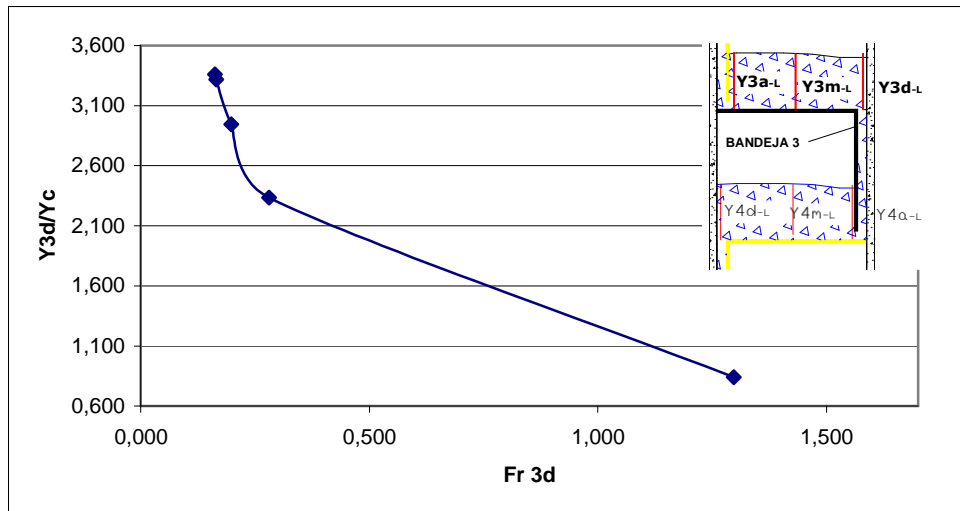
**FIGURA 3.7**  
**RELACIÓN ADIMENSIONAL ENTRE CALADO  $Y_{3a}/Y_c$  Y  $Fr_{3a}$ .**  
**(BANDEJA 3)**



ELABORACION DE: Paúl León

Los cuatro primeros caudales se encuentran en régimen subcrítico en un rango similar, la tendencia general entre relación de calados es disminuir mientras aumenta el caudal, ver FIGURA 3.8

**FIGURA 3.8**  
**RELACIÓN ADIMENSIONAL ENTRE CALADO  $Y_{3D}/Y_C$  Y  $Fr_{3D}$ .**  
**(BANDEJA 3)**



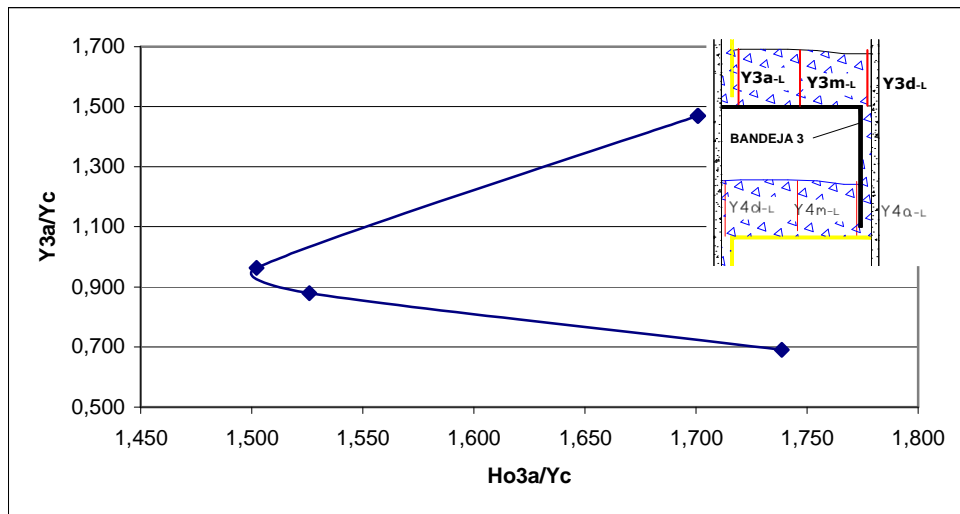
ELABORACION DE: Paúl León

La relación adimensional entre calados y la energía específica para caudales bajos y altos tiende a alejarse de las relaciones para caudales medios, ver FIGURA 3.9

### **3.5 DESCRIPCIÓN DE LOS FENÓMENOS FÍSICOS OBSERVADOS**

Al producirse la disipación de energía se crean fuertes perturbaciones dando a lugar a los fenómenos físicos. Entre los más importantes se puede considerar los siguientes:

**FIGURA A 3.9**  
**RELACIÓN ADIMENSIONAL ENTRE CALADO Y3A/YC Y LA ENERGÍA ESPECÍFICA. (BANDEJA 3)**



ELABORACION DE: Paúl León

- Vibración inducida
- Caída libre
- Chorro en una masa de agua
- Impacto del chorro contra la pared

### 3.5.1 VIBRACIÓN INDUCIDA

Fenómeno que se origina por los cambios de velocidad del flujo producidos por la geometría de la estructura. Es el mecanismo de intercambio de energía entre el medio fluido y el medio sólido del contorno. Se presenta en las estructuras analizadas en laboratorio debido a la poca rigidez de los materiales con los cuales fueron construidas.

### 3.5.2 CHORRO EN UNA MASA DE AGUA

Al introducirse el chorro en la masa de agua se produce un cambio de la energía cinética por un proceso de difusión.



### **3.5.3 IMPACTO DEL CHORRO CONTRA LA PARED**

Para caudales máximos el chorro impacta contra la pared de la estructura cada vez que pasa de una bandeja a otra, haciendo que esta funcione como una pantalla de impacto. Mientras que para los caudales mínimos prácticamente no se produce este fenómeno.

## **3.6 CONCLUSIONES**

Para los caudales bajos y medios existe disipación de energía en la mayoría de las bandejas.

La estructura cumple con la función de disipador de energía. Se puede observar un mejor funcionamiento de la estructura con relación al prototipo inicial, obteniéndose una entrega mas uniforme en el canal de salida; sin que este diseño geométrico sea el optimo.

El pozo en laberinto ensayado en laboratorio prescinde del impactador.

La distribución uniforme de la altura entre bandejas permite a la estructura funcionar de manera similar para cada nivel.

Las tendencias en todos los casos en las bandejas de la 2 a la 7 tienen patrones de comportamiento similares lo que permite concluir que el funcionamiento de la estructura para los diferentes niveles mencionados es similar; por lo cual se analiza la bandeja 3 en representación de todas las bandejas anteriores.

## **CAPITULO 4.**

## **4. VARIANTE DEL FLUJO DE CAÍDA LIBRE CON REJA HORIZONTAL: VARIANTE NO. 2**

### **4.1 BASES DE DISEÑO HIDRODINÁMICO, DISIPADOR DE PEQUEÑA CAÍDA LIBRE**

Las bases de diseño son las mismas descritas en el capítulo 3, cambiando únicamente la geometría de las bandejas. Creando de esta manera una solución adicional para el sistema de pozos de bandejas basada en un disipador de energía tipo rejilla propuesto por la Bureau of Reclamation.

### **4.2 DIMENSIONAMIENTO GEOMÉTRICO DE LAS ESTRUCTURAS**

El fluido antes de pasar de nivel se separa en varias partes largas y delgadas debido a la presencia de las rejillas, cae de manera casi vertical aguas abajo donde la disipación se hace por la presencia de un resalto hidráulico. La longitud de la rejilla es efectiva cuando el fluido ha sido descargado totalmente por los orificios antes de llegar al extremo final.

En el presente proyecto de titulación se conserva la altura entre bandejas del diseño original del pozo.

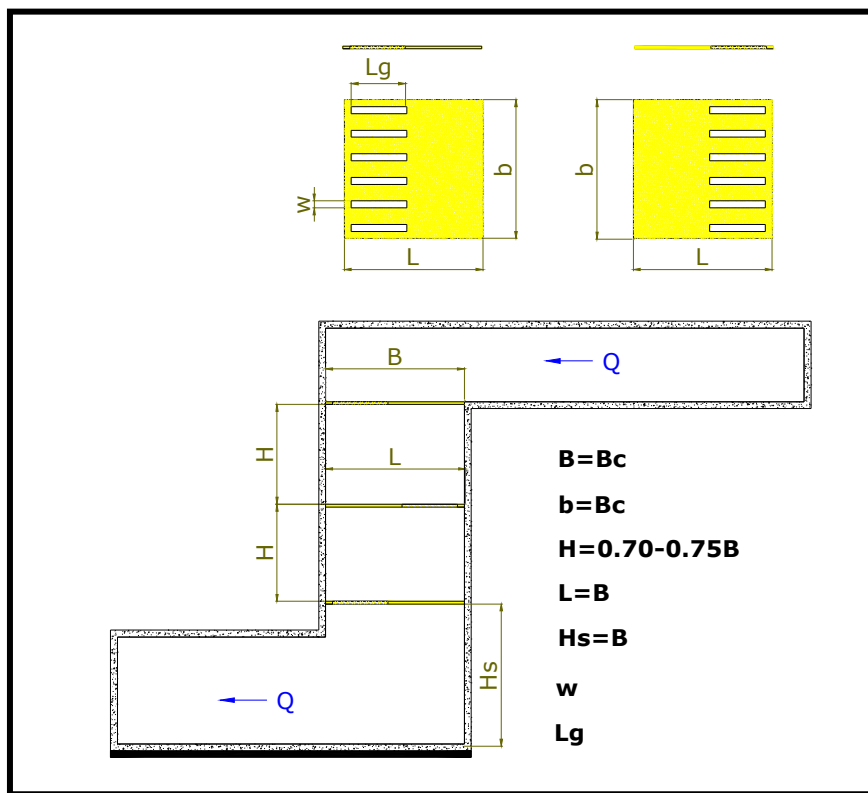
A continuación se presentan los principales parámetros geométricos:

- Ancho **B** del pozo
- Altura **H** entre bandejas
- Longitud **L** de las bandejas
- Altura final **H<sub>s</sub>** entre la última bandeja y el nivel del canal de salida

- Longitud **Lg** de los orificios en las bandejas
- Ancho **w** del orificio en las bandejas

Se trata de un pozo cuadrado por lo cual el ancho  $B_c$  del canal es el mismo para el ancho  $B$  del pozo y para el ancho  $b$  de la bandeja. Las bandejas están diseñadas con rejillas horizontales, las cuales están dimensionadas para cubrir el diez por ciento del área total de la bandeja, ver FIGURA 4.1:

**FIGURA 4.1**  
**DIMENSIONAMIENTO DEL POZO REJILLA HORIZONTAL**



ELABORACION DE: Paúl León

Las recomendaciones para dimensionar geoméricamente estas estructuras, se describen a continuación:

**ANCHO “B” DEL POZO**, es la dimensión del pozo en la misma dirección del flujo de entrada. La sección transversal del pozo es rectangular cuadrada y delimita el contorno dentro del cual se encuentran las bandejas alternadas. Este ancho para diseño se toma como el ancho del canal de aproximación, para evitar cambios de sección en la conducción.

**ALTURA “H” ENTRE BANDEJAS**, altura entre cada bandeja, se la puede calcular en función del ancho B y se mantiene la misma dimensión para todas las bandejas.

$$H = (0.70 \text{ a } 075) B$$

**LONGITUD “L” DE BANDEJAS**, se refiere a la longitud transversal al flujo que deberá tener cada bandeja del pozo, se calcula en función del ancho B y se mantiene la misma dimensión para todas las bandejas.

$$L = B$$

**ALTURA “Hs” ENTRE LA ULTIMA BANDEJA Y EL NIVEL DEL CANAL DE SALIDA**, se la calcula en función del ancho B.

$$H_s = 1.35 B$$

Para el dimensionamiento de las rejillas de la bandeja, se tomo en cuenta consideraciones propuestas por la Bureau of Reclamation; expresada en la siguiente ecuación:

$$L_g = \frac{Q}{0.245 w N \sqrt{2g H_e}} \quad (4.1)$$

En donde:

- $L_g$  = Longitud de la rejilla en pies.
- $w$  = Anchura de los orificios en pies.
- $N$  = Número de orificios y
- $H_e$  = Calado de la corriente aguas arriba de la caída.

Se ha tomado como base fija de diseño un calado de 3 cm, un caudal de 0.012 m<sup>3</sup>/seg y 6 orificios distribuidos simétricamente en la dirección transversal en las bandejas. Esto no significa que para el diseño estructural se conserve el número de orificios, sino mas bien se debe considerar que el área de descarga es el 10 por ciento del área total de la bandeja, la cual será repartida para la cantidad de orificios convenientes.

### **4.3 PLAN DE PRUEBAS**

El plan de pruebas del modelo a analizar tiene por objeto tomar las medidas de los parámetros necesarios, tales como: Niveles, calados, etc. Con la finalidad de disponer de la información necesaria que permita un análisis para llegar a conclusiones sobre el funcionamiento de la estructura.

Por medio de este plan de pruebas y la información obtenida se realiza un análisis para obtener el comportamiento de la estructura para los diferentes caudales.

- Prueba No: 1, caudal  $Q = 101.58$  l/s.
- Prueba No: 2, caudal  $Q = 64.99$  l/s.
- Prueba No: 3, caudal  $Q = 52.57$  l/s.
- Prueba No: 4, caudal  $Q = 29.87$  l/s.
- Prueba No: 5, caudal  $Q = 9.38$  l/s.

Las bandejas en su sección horizontal tienen un área de descarga igual al 10 % del área total del pozo, distribuida en N numero de orificios tipo rejilla. Ver figura 4.2:

**FIGURA 4.2**  
**AREA DE DESCARGA DE LA BANDEJA CON REJILLA HORIZONTAL**





ELABORACION DE: Paúl León

El procedimiento de medición de los calados se ha realizado como se indica en la FIGURA 4.3 para establecer el comportamiento del pozo y del flujo de aproximación.

## 4.4 ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO PARA DIFERENTES CAUDALES

### 4.4.1 CANAL DE APROXIMACIÓN Y BANDEJAS

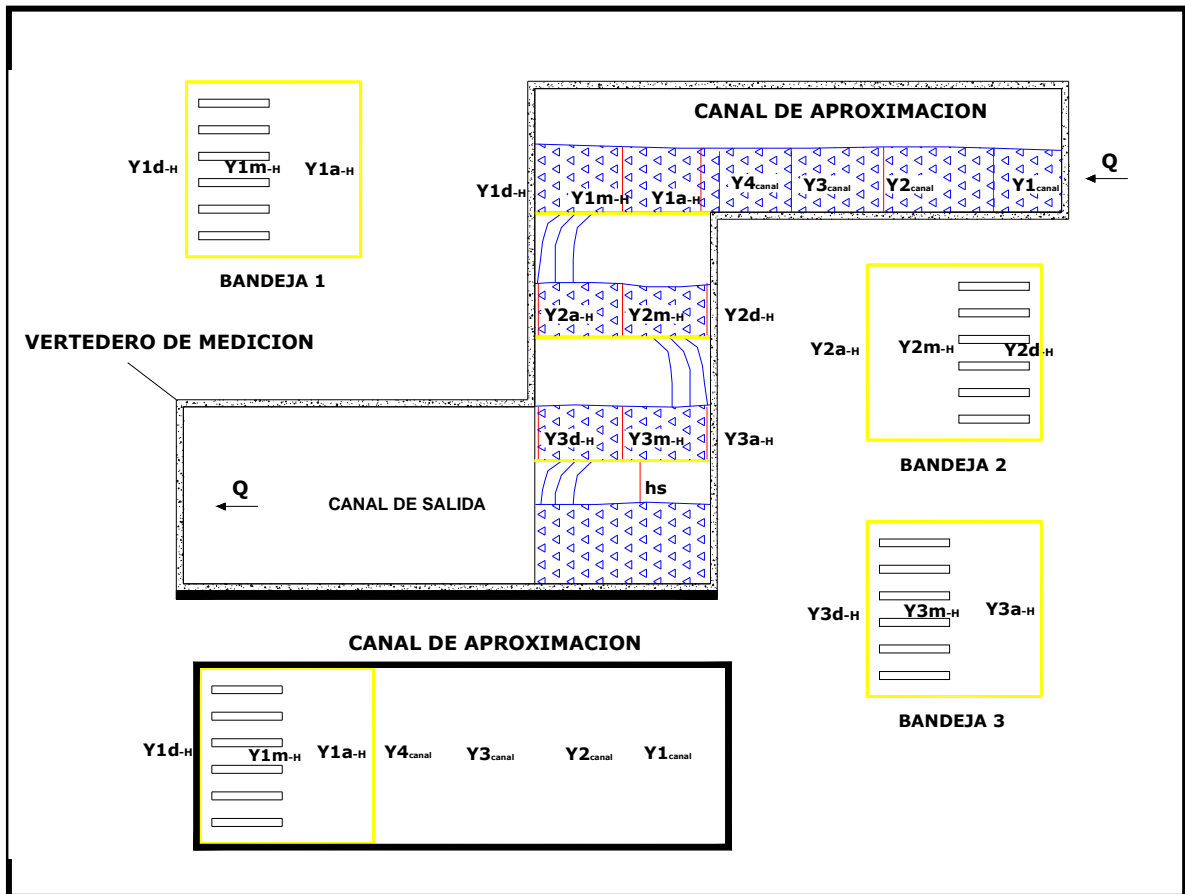
Cada nivel de bandeja tiene como propósito disipar energía mediante la formación de un resalto. El flujo para todos los caudales pasa de bandeja a bandeja a través de un área de descarga colocada al final de cada bandeja en forma de orificios.

La función del canal de aproximación es conducir el flujo hacia la primera bandeja. De manera que el flujo sea lo más simétrico y estable.

En la parte final del canal se implantan ranuras similares a las del dissipador con bandejas. Desde su inicio se imponga un patrón de flujo similar al que ya se tiene en cada una de las bandejas.

- Canal de aproximación, 4 ejes transversales de medición.
- Para cada bandeja un eje de medición al inicio, en la mitad y al final de las mismas, como se indica en la FIGURA 4.3:

**FIGURA 4.3**  
**DISTRIBUCIÓN DE MEDIDAS POZO REJILLA HORIZONTAL**



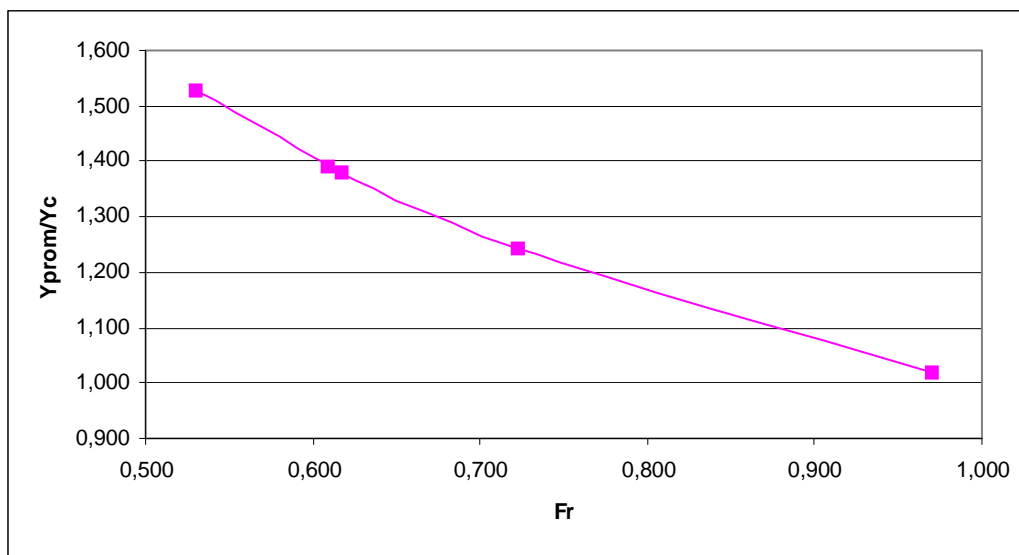
ELABORACION DE: Paúl León  
Mediante los calados establecidos, se trata de establecer y definir el tipo de flujo que actúa en la estructura.

Para el análisis hidráulico se tomara en cuenta preferiblemente los calados  $Y_{a-H}$  y  $Y_{d-H}$ , por que en su área de influencia el flujo forma un colchón de agua. Además se calculará el Froude, la energía específica, velocidades, calados críticos, mediante estos calados, utilizando las ecuaciones presentadas en el sub capítulo 3.4.1

- **Relaciones medidas para el canal de aproximación**

El flujo de aproximación se encuentra en un régimen subcrítico, la relación adimensional de calados tiende a disminuir mientras aumenta el caudal. Esto se puede observar en la FIGURA 4.3 a

**FIGURA 4.3 a**  
**RELACIÓN ADIMENSIONAL ENTRE EL CALADO Y EL FR**



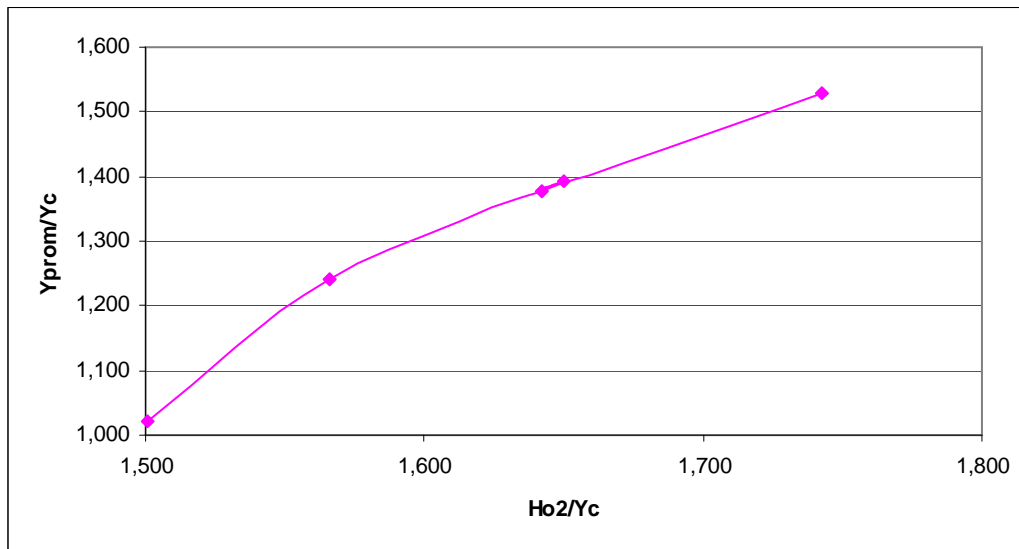
ELABORACION DE: Paúl León

A medida que el caudal aumenta la relación adimensional de calados aumenta, ver FIGURA 4.4.

**FIGURA 4.4**



## RELACIÓN ADIMENSIONAL ENTRE EL CALADO Y LA ENERGÍA ESPECÍFICA



ELABORACION DE: Paúl León

Los cálculos para el fenómeno de flujo que se presenta en el canal de aproximación se encuentran en las tablas 1, 2, 3 del Anexo 4; mientras que las relaciones entre sus parámetros adimensionales que le caracterizan se presentan en las figuras: A 4.3 a, A 4.4.

- **Relaciones medidas para las bandejas**

Para el caudal más alto la estructura presenta resalto en dos de las dos bandejas, el porcentaje de disipación de energía en toda la estructura esta alrededor del 74 %.

### FOTOGRAFIA 4.1

**FLUJO SOBRE CANAL DE APROXIMACIÓN POZO REJILLA HORIZONTAL**



ELABORACION DE: Paúl León

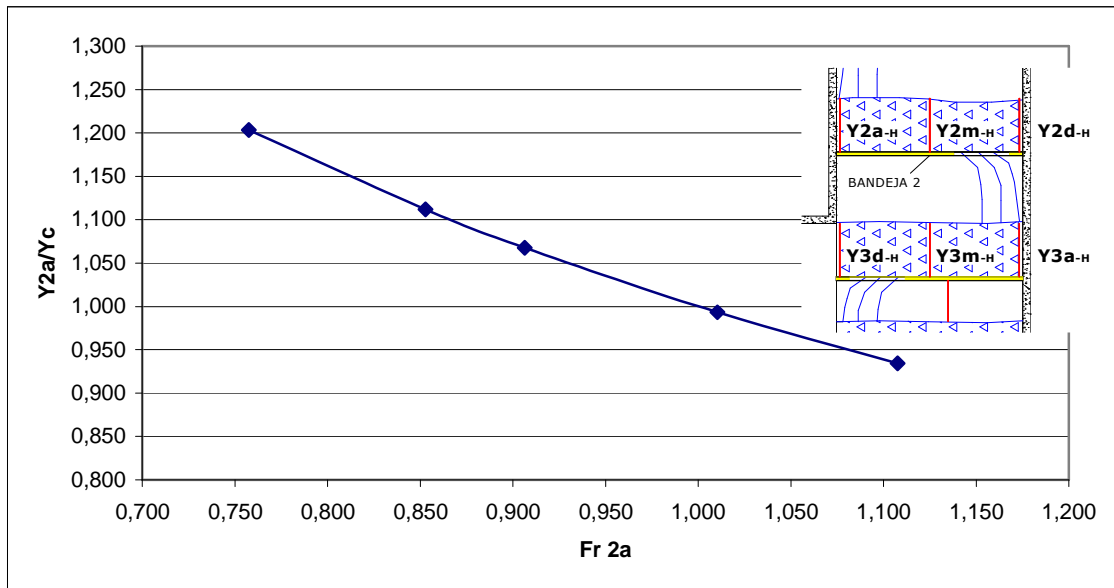
Para los dos caudales medios la estructura presenta resalto en tres de las cuatro bandejas, el porcentaje de disipación de energía en toda la estructura esta alrededor del 82 %.

Para los dos caudales bajos la estructura no presenta resalto, el porcentaje de disipación de energía en toda la estructura esta alrededor del 86 %.

Con la ayuda de una rejilla de fondo se logra entregar al canal de salida un flujo con baja velocidad, en un régimen subcrítico, esto permite deducir que la estructura funciona para lo cual fue diseñada.

Para la bandeja 2 a medida que aumenta el caudal la relación adimensional de calados aumenta, a continuación en la FIGURA 4.5:

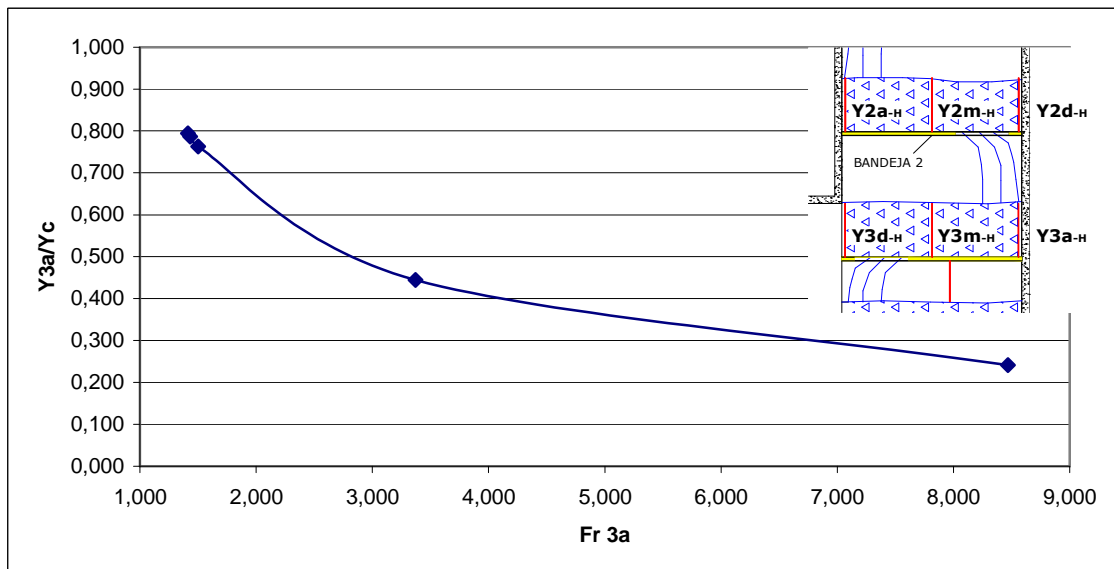
**FIGURA 4.5**  
**RELACIÓN ADIMENSIONAL ENTRE CALADO  $Y2A/YC$  Y FR 2A. (BANDEJA 2)**



ELABORACION DE: Paúl León

Para la bandeja 3 a medida que aumenta el caudal la relación adimensional de calados aumenta, y los caudales altos y medios se encuentran en un rango similar de régimen, a continuación en la FIGURA 4.6:

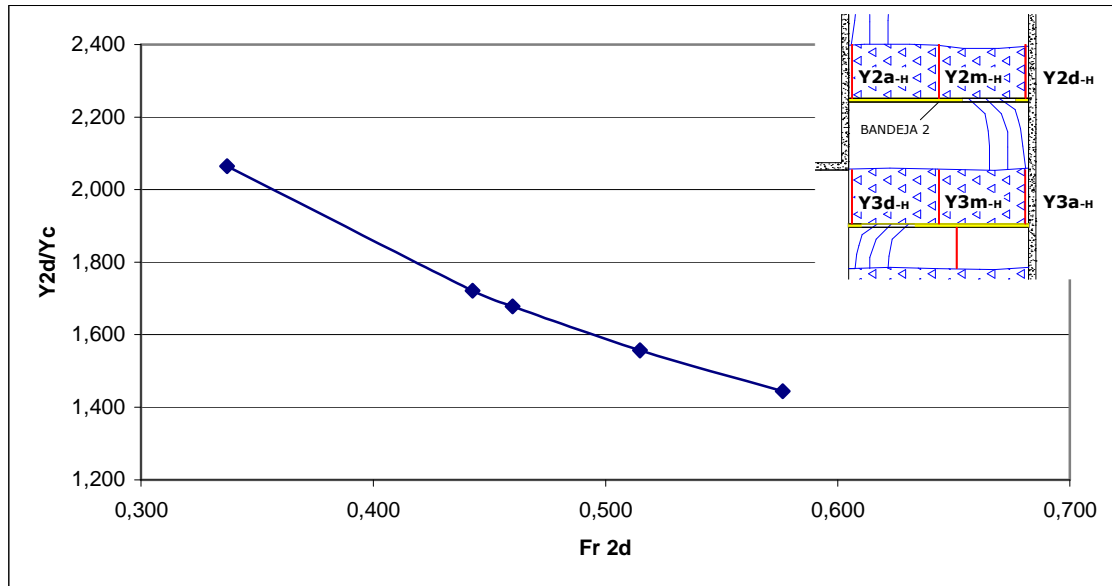
**FIGURA 4.6**  
**RELACIÓN ADIMENSIONAL ENTRE CALADO Y3A/YC Y FR 3A. (BANDEJA 3)**



ELABORACION DE: Paúl León

Para la bandeja 2 los caudales se encuentran en régimen subcrítico, la tendencia entre relación de calados es disminuir mientras disminuye el caudal, ver FIGURA 4.7

**FIGURA A 4.7**  
**RELACIÓN ADIMENSIONAL ENTRE CALADO Y2D/YC Y FR 2D. (BANDEJA 2)**

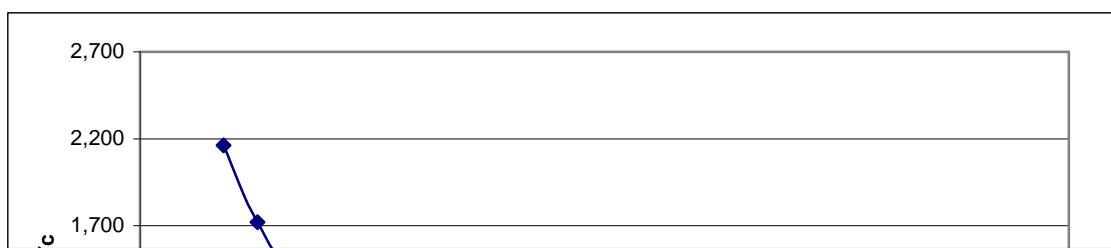


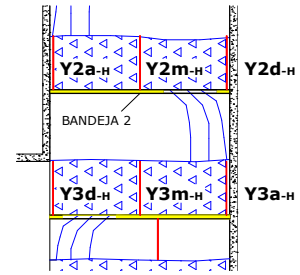
ELABORACION DE: Paúl León

Para la bandeja 3 los caudales medios y altos se encuentran en régimen subcrítico, la tendencia entre relación de calados es disminuir mientras disminuye el caudal, ver FIGURA 4.8

Para la bandeja 2 la relación adimensional entre calados y la energía específica para ciertos caudales bajos y altos tiende a estar en un mismo rango de energía con diferentes relaciones entre calados, ver FIGURA 4.9

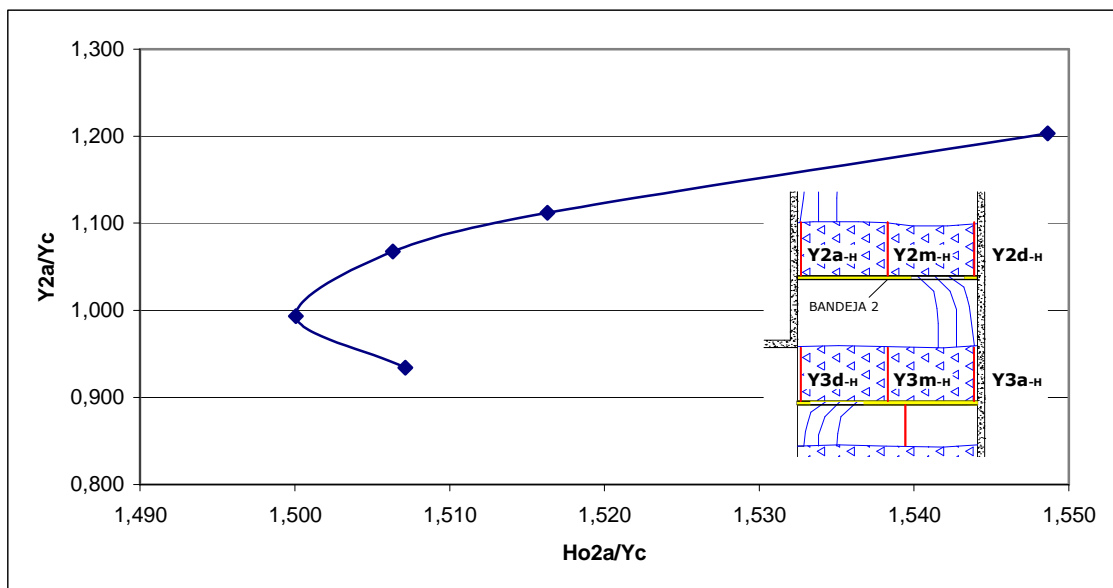
**FIGURA A 4.8**  
**RELACIÓN ADIMENSIONAL ENTRE CALADO Y3D/YC Y FR 3D. (BANDEJA 3)**





ELABORACION DE: Paúl León

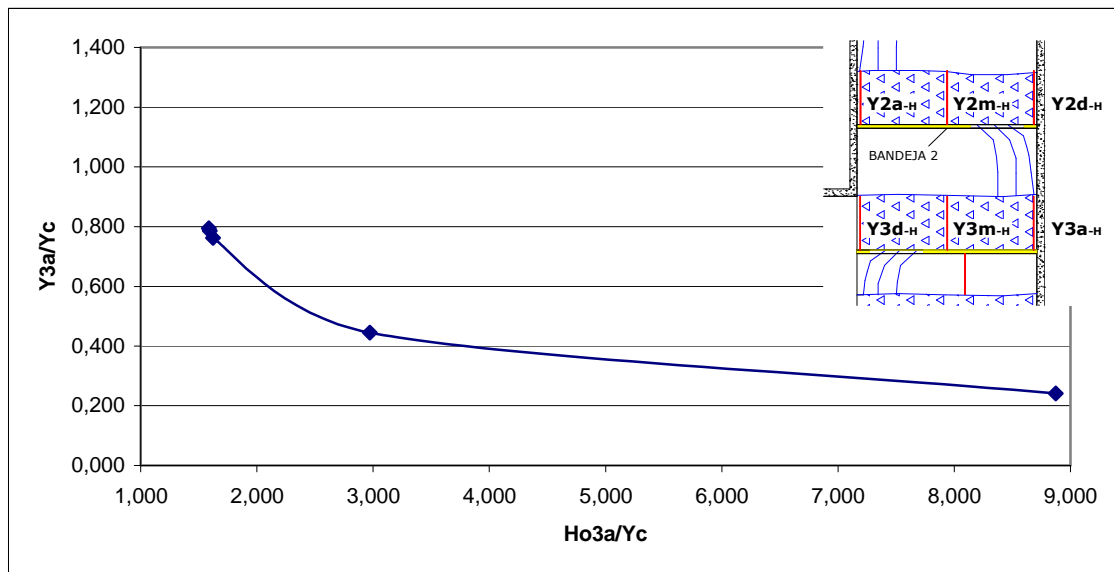
**FIGURA A 4.9**  
**RELACIÓN ADIMENSIONAL CALADO  $Y2a/Yc$  Y LA ENERGÍA ESPECÍFICA.**



ELABORACION DE: Paúl León

Para la bandeja 3 la relación adimensional entre calados y la energía específica tiende a disminuir mientras disminuye el caudal, para caudales medios y altos las relaciones de energía se encuentran en un rango similar, ver FIGURA 4.10

**FIGURA A 4.10**  
**RELACIÓN ADIMENSIONAL ENTRE CALADO Y3A/YC Y LA ENERGÍA**  
**ESPECÍFICA. (BANDEJA 3)**



ELABORACION DE: Paúl León

## 4.5 DESCRIPCIÓN DE LOS FENÓMENOS FÍSICOS OBSERVADOS

Al producirse la disipación de energía se crean fuertes perturbaciones dando a lugar a los fenómenos físicos en la estructura. Entre los más importantes se puede considerar los siguientes:

- Vibración inducida
- Caída libre
- Separación del flujo
- Vertido lateral
- Chorro en una masa de agua
- Impacto del chorro contra la pared

### 4.5.1 VIBRACIÓN INDUCIDA

Se debe al tipo de materiales utilizados para la construcción del modelo y como afecta la velocidad del flujo al chocar contra los contornos de la estructura.

#### **4.5.2 CAÍDA LIBRE**

El flujo se separa en las rejillas. Se puede observar el impacto del fluido contra las paredes de la estructura, lo cual produce una pérdida de energía en cada nivel de bandejas.

#### **4.5.3 CHORRO EN UNA MASA DE AGUA**

Al introducirse el chorro en la masa de agua se produce una difusión de energía potencial a energía cinética cuando se forma un resalto. Se observa como en la mitad de la bandeja se crea turbulencia.

#### **4.5.4 IMPACTO DEL CHORRO CONTRA LA PARED**

Para caudales mayores el chorro impacta contra la pared de la estructura cada vez que pasa de una bandeja a otra, haciendo que esta funcione como una pantalla de impacto y creando una zona de turbulencia en cada nivel de bandeja. Mientras que para los caudales bajos prácticamente no se produce este fenómeno, el flujo cae directamente en el colchón de agua del nivel inferior. Esto se debe a que el flujo empieza a caer aproximadamente desde la mitad de la bandeja.

### **4.6 CONCLUSIONES**

Para los caudales altos y medios existe disipación de energía en la mayoría de las bandejas. Esto se debe a que para estos caudales se forma un colchón de agua en el cual existe una mejor disipación de energía; mientras que para

caudales pequeños el flujo esta en caída libre en contacto directo con la superficie de las bandejas, obteniéndose una deficiente disipación de energía.

La estructura cumple con la función de disipador de energía, se puede observar el buen funcionamiento de la estructura sin que este diseño geométrico sea el optimo.

El pozo con rejilla horizontal ensayado en laboratorio prescinde del impactador, haciendo funcionar a la pared del pozo como una pantalla de impacto.

## **CAPITULO 5.**

### **5. DISEÑO ESTRUCTURAL DEL POZO DE BANDEJAS MODIFICADO**



## 5.1 ANÁLISIS DE LAS FUERZAS ACTUANTES

En el análisis de las fuerzas actuantes para el diseño estructural de los pozos de bandejas se tomó en cuenta:

### 5.1.1 FUERZAS DEL SUELO

Están relacionadas con el tipo de suelo, capacidad de generar movimientos horizontales y verticales; las cuales generan esfuerzos para los cuales se diseña la estructura.

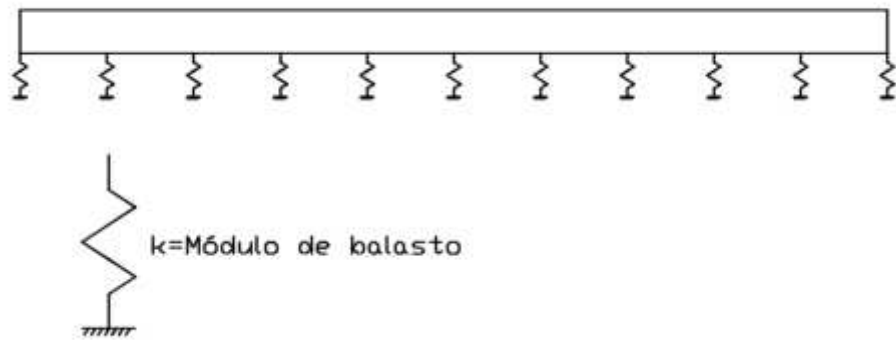
El diseño de la estructura debe hacerse para que su comportamiento sea elástico, de manera que interactúe la estructura con el suelo sufriendo el menor daño posible, es decir lo más flexible posible, lo cual dependerá fundamentalmente de las dimensiones de ésta, y especialmente la relación entre su canto y las dimensiones de la base en cada dirección. Los resortes elásticos resultado de la modelización se caracterizarán por su constante  $k$ , que representa la rigidez de estos a la deformación en su eje, y que ahora se denominará **módulo o coeficiente de balasto** del terreno.

Este coeficiente representa la rigidez frente al asentamiento del suelo, si el coeficiente de balasto es alto supondrá un suelo rígido con menores asentamientos que un coeficiente bajo que supondrá mayores deformaciones.

El coeficiente de balasto se distribuye en varios puntos del elemento, como se esquematiza en la FIGURA 5.1 a continuación:

**FIGURA 5.1  
REPRESENTACIÓN DEL COEFICIENTE DE BALASTO**





CÁLCULO DE LOSA FLEXIBLE MEDIANTE EL MÉTODO DEL MÓDULO DE BALASTO

ELABORACION DE: Paúl León

Para el cálculo de estructuras de cimentación con este método se considera una serie infinita de resortes elásticos con constante  $k$  o módulo de balasto, bajo cada punto del elemento. Estos resortes representan de manera simplificada el comportamiento supuesto elástico del terreno.

Mediante varios ensayos en laboratorio se ha llegado a deducir una formula empírica para el cálculo de  $k$ :

$$k = 120q_a A \quad (5.1.1)$$

$k$  = coeficiente de balasto

$q_a$  = carga admisible del suelo

$A$  = área aportante

Para el diseño de las estructuras se tomó  $q_a = 25 \text{ t/m}^2$ , por ser un valor común en las características del suelo tipo cangagua.

Obteniéndose un  $K = 3000 \text{ t/m}^2$

La carga que el suelo ejerce sobre la estructura se calcula mediante la siguiente formula:

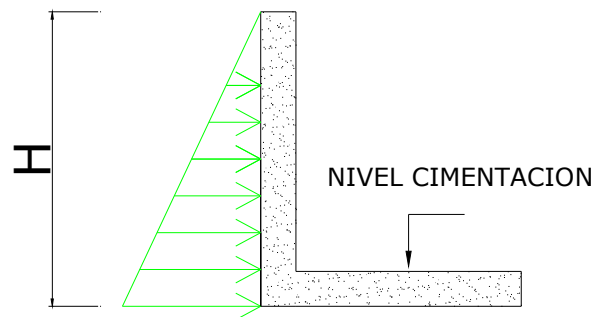
$$\sigma = \gamma_s \cdot K_a \cdot H$$

Donde :

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \text{ Coeficiente de Empuje Activo}$$

$\gamma_s =$  *Peso específico del suelo*

$H =$  *Altura*



### 5.1.2 FUERZAS HIDRÁULICAS

Luego de obtener el diseño geométrico hidráulico, se procede al diseño estructural.

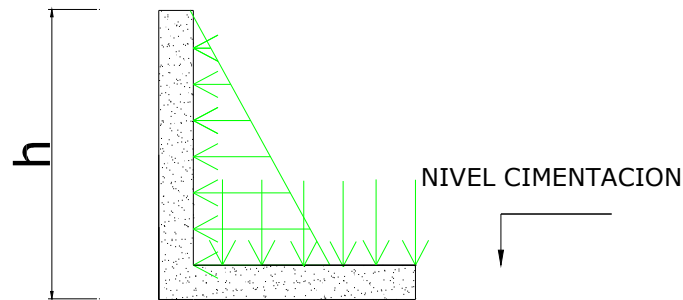
Se toma como una condición de borde para el diseño estructural, a la estructura llena totalmente de agua.

Lo cual indica que la fuerza hidráulica que interviene es la del agua, ejercida contra los componentes de la estructura, tales como: paredes, bandejas y canales de aproximación y salida del pozo.

Para una mayor facilidad de cálculo se puede tomar como una carga repartida la fuerza que ejerce el agua sobre la estructura.

Tomando en cuenta que la fuerza que genera el agua es:

$$F_{H_2O} = \gamma_{H_2O} h \quad (5.1.2)$$



El ancho del túnel de la conducción del sistema de alcantarillado está previamente definido. Para evitar el diseño de una transición como canal de aproximación, se toma la misma dimensión en la definición del ancho del pozo de bandejas.

Para el diseño de la conducción se tomaron datos reales del sistema de alcantarillado en la Qda. Cuscungo, por ser la obra a la que hace referencia en el presente proyecto de titulación. Se tiene un caudal de aproximación igual a 18.83 m<sup>3</sup>/s, el ancho de la conducción es de 3 m. y una altura a vencer de 15 m.

### 5.1.3 FUERZAS DE LA ESTRUCTURA

Como en todos los diseños de Ingeniería Civil se debe considerar las cargas que actúan en la estructura, como son:

- Carga muerta
- Carga viva
- Peso propio de la estructura

Para el diseño estructural se empleó el código ACI 318-95 y el código ecuatoriano de la construcción CEC-2002.

## **5.2 CONSIDERACIONES SOBRE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS REQUERIDOS**

Estos tienen por objetivo establecer los criterios mínimos para elaboración de estudios geotécnicos dirigidos al diseño y construcción de obras relacionadas con el suelo, como son los movimientos de tierra (excavaciones, terraplenes), estructuras de estabilización de taludes y control de cauces, adecuación de terrenos, etc., y en general para todo tipo de obra que modifique el entorno donde se localice.

El estudio geotécnico realizado para un proyecto definitivo debe considerar todo lo relativo al comportamiento mecánico del suelo y las recomendaciones concretas para el diseño y construcción de todas las obras de subestructura.

Entre los parámetros más importantes están:

- Clasificación de suelos y materiales
- Resistencia a compresión
- Compactación
- Grado de Humedad
- Resistencia a corte
- Deformación
- Propiedades mecánicas e hidráulicas

Los ensayos más comunes son los de Triaxial y Proctor Estándar, que permiten deducir el comportamiento del suelo y que tipo de cimentación es la más conveniente para el proyecto.

Los parámetros geotécnicos con los que se desarrollo el cálculo son:

- Contenido de Humedad: 25 %

- Cohesión: 0.5 Kg/cm<sup>2</sup>
- Angulo de fricción: 29 °
- $\gamma_{\text{suelo}} = 1.73 \text{ t/m}^3$
- factor de seguridad:  $n \approx 3$

Para el cálculo de la estructura se asume un desplazamiento permitido de 2.5 cm.

### **5.3 SOLUCIÓN AL DISEÑO ESTRUCTURAL EN HORMIGÓN ARMADO**

Para el diseño estructural se han considerado dos condiciones de borde, la primera, contempla la estructura vacía y la segunda, la estructura llena de agua.

Para su diseño se utiliza básicamente el dimensionamiento geométrico hidráulico; luego se realizan algunas pequeñas variaciones, considerando no sólo el análisis estructural sino también la facilidad constructiva.

Mediante un programa de cálculo de elementos finitos SAP 2000, se obtienen los momentos, las fuerzas cortantes y los esfuerzos actuantes en la estructura. Se aplica el código ACI 318-95 para la comprobación y diseño en hormigón armado.

Los elementos que conforman la estructura se diseñan a flexión y corte, diseñados como muros de contención.

En la estructura vacía intervienen las fuerzas del suelo y de la estructura, lo que proporcionara la primera rama de armadura, tanto vertical como horizontal. Esta condición de borde permite observar como el suelo interactúa en la estructura, y crea una condición crítica.

En la estructura llena de agua intervienen las fuerzas del agua y la estructura, lo que proporciona la segunda rama de armadura, tanto horizontal como vertical. Esta condición de borde permite observar como el agua interactúa en la estructura, y crea otra condición crítica.

La metodología de diseño para los dos casos es similar, los parámetros hidráulicos proporcionan la geometría de la estructura, mientras que los parámetros geotécnicos y estructurales el diseño estructural.

Con el momento de las envolventes de los diferentes estados de carga se diseña el refuerzo vertical y horizontal, para lo cual se puede usar una fórmula para refuerzo mínimo en muros y losas propuesta por el Código ACI 318-95:

Muros:

$$\text{Vertical} \quad A_{s_{\min.}} = 0.0012 \cdot b_w \cdot h \quad (5.3.1)$$

$$\text{Horizontal} \quad A_{s_{\min.}} = 0.0020 \cdot b_w \cdot h \quad (5.3.2)$$

Losas:

$$A_{s_{\min.}} = 0.0018 \cdot b_w \cdot h \quad (5.3.3)$$

La deformación actuante debe ser menor que la deformación permitida.

A continuación se presenta el resumen del diseño en hormigón armado para el pozo en laberinto de bandejas tipo "L" en el cuadro 5.1:

**CUADRO 5.1  
RESUMEN DE DISEÑO POZO DE BANDEJAS TIPO L**

ESTADO	COMPONENTE	Mu tm/m	ρ <sub>min</sub>	ρ	ρ <sub>max</sub>	As cm <sup>2</sup>	Vu t	Vc T
--------	------------	------------	------------------	---	------------------	-----------------------	---------	---------

<b>VACÍA</b>	CIMENTACIÓN	3,77	0,0030	0,0112	0,0190	11,22	3,57	8,38
	ESTRUCTURA	4,80	0,0030	0,0149	0,0190	14,90	2,16	8,38
	BANDEJA	1,94	0,0030	0,0054	0,0190	5,42	6,80	8,38
<b>LLENA</b>	CIMENTACIÓN	3,77	0,0030	0,0112	0,0190	11,22	3,57	8,38
	ESTRUCTURA	10,43	0,0030	0,0143	0,0190	21,43	8,25	8,38
	BANDEJA	10,43	0,0030	0,0143	0,0190	21,43	8,25	8,38

ELABORACION DE: Paúl León

A continuación se presenta el resumen del diseño en hormigón armado para el pozo de bandejas con “rejilla horizontal” en el cuadro 5.2

### **CUADRO 5.2 RESUMEN DE DISEÑO POZO DE BANDEJAS REJILLA HORIZONTAL**

<b>ESTADO</b>	<b>COMPONENTE</b>	<b>Mu tm/m</b>	<b><math>\rho_{min}</math></b>	<b><math>\rho</math></b>	<b><math>\rho_{max}</math></b>	<b>As cm<sup>2</sup></b>	<b>Vu t</b>	<b>Vc t</b>
<b>VACÍA</b>	CIMENTACIÓN	3,50	0,0030	0,0103	0,0190	10,31	6,96	8,38
	ESTRUCTURA	3,42	0,0030	0,0100	0,0190	10,05	3,08	8,38
	BANDEJA	0,51	0,0030	0,0014	0,0190	1,37	6,80	8,38
<b>LLENA</b>	CIMENTACIÓN	3,50	0,0030	0,0103	0,0190	10,31	6,96	8,38
	ESTRUCTURA	7,00	0,0030	0,0115	0,0190	15,48	5,80	8,38
	BANDEJA	7,50	0,0030	0,0014	0,0190	14,64	10,00	12,57

ELABORACION DE: Paúl León

Después de un prediseño en el programa de cálculo estructural, se obtiene el diseño definitivo de la estructura.

Mediante las condiciones impuestas en el presente proyecto de titulación, se obtiene como diseño definitivo, una estructura con una resistencia a corte para el hormigón de 210 Kg/cm<sup>2</sup>, una resistencia a la fluencia del acero de 4200 Kg/cm<sup>2</sup>, un ancho de muro de 30 cm. y un peralte total de 30 cm para las bandejas.

## **5.4 VOLÚMENES DE OBRA**

Luego de haber realizado el diseño y la comprobación estructural se obtiene los volúmenes de obra de acuerdo a los materiales que se uso para el cálculo,



para los dos modelos se obtuvo un espesor de 0.30 m para las paredes, bandejas y cimentación; con las características siguientes:

#### **5.4.1 HORMIGÓN ESTRUCTURAL**

Tendrá una resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, además se recomienda este hormigón para este tipo de obras por la facilidad para alcanzar su resistencia sin la necesidad de aditivos o ensayos avanzados en laboratorio.

#### **5.4.2 ACERO DE REFUERZO**

Lo constituirán varillas corrugadas con una resistencia a la fluencia de 4200 kg/cm<sup>2</sup>, para los casos que se necesite, la longitud de desarrollo será de 50 veces el diámetro de la varilla de mayor diámetro.

Los recubrimientos serán de 5 cm, se tendrá dos ramas de reforzamiento en los dos sentidos, los diámetros y las longitudes de las varillas estarán especificadas a continuación en los cuadros 5.3 y 5.4.

Los planos estructurales para las dos estructuras se encuentran en el Anexo 5.

Para la revisión de las bandejas se propone un pozo de revisión lateral, el cual estará ubicado a un costado del pozo de bandejas con un eje vertical, con dimensiones máximas de 1.20 x 1.20 m y del mismo alto de la estructura. Además este servirá en el proceso constructivo para el retiro de apuntalamientos.

#### **CUADRO 5.3**

## VOLÚMENES DE OBRA PARA POZO EN LABERINTO DE BANDEJAS TIPO “L”

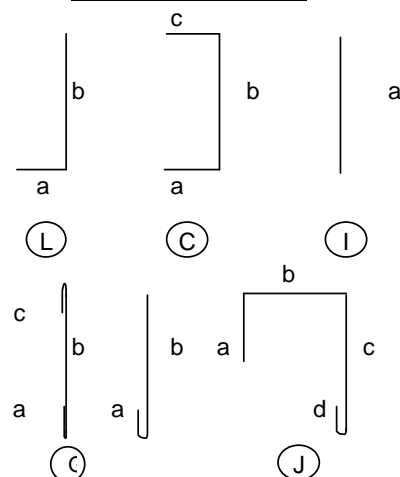
PLANILLA DE HIERROS POZO DE BANDEJAS TIPO L										
MARCA	φ mm	@ cm	Tipo	N°	Dimensiones (m)				Long. Corte	Long. Total
					a	b	c	d		
Mc 100	14	20	L	92	0,70	11,30			12,00	1104,00
Mc 101	14	20	G	300	0,10	3,40	0,10		3,60	1080,00
Mc 102	14	20	L	96	0,70	11,30			12,00	1152,00
Mc 103	14	20	C	300	0,27	3,40	0,27		3,94	1182,00
Mc 104	14	20	L	17	0,70	4,50			5,20	88,40
Mc 105	14	20	I	58	5,20				5,20	301,60
Mc 106	14	20	L	17	0,70	4,50			5,20	88,40
Mc 107	14	20	I	62	5,20				5,20	322,40
Mc 108	14	20	I	17	1,30				1,30	22,10
Mc 109	14	20	I	17	1,30				1,30	22,10
Mc 200	12	20	L	19	0,20	3,90			4,10	77,90
Mc 201	12	20	G	19	0,10	3,90			4,00	76,00
Mc 203	12	20	C	17	0,2	3,40	0,20		3,60	61,20
Mc 204	12	20	G	17	0,1	3,40	0,10		3,50	59,50
Mc 300	14	20	J	75	0,70	2,80	2,05	0,27	5,82	436,50
Mc 301	12	20	C	75	0,70	2,70	0,15		3,55	266,25
Mc 302	14	20	C	125	0,70	3,40	0,70		4,80	600,00
Mc 303	12	20	C	125	0,70	3,20	0,70		4,60	575,00
Mc 304	12	20	G	75	0,15	2,15	0,15		2,45	183,75
Mc P10	14	20	C	225	0,20	1,60	0,20		2,00	450,00
Mc P11	14	20	J	150	0,10	1,60			1,70	255,00
Mc P12	14	20	G	75	0,10	1,60	0,10		1,80	135,00
Mc P13	12	20	G	22	0,10	1,60	0,10		1,80	39,60
Mc P14	12	20	C	22	0,20	1,60	1,60		3,40	74,80
Mc P15	14	40	E	38	0,22	0,40	0,40		1,64	62,32

RESUMEN DE HIERROS		
φ mm	Longitud m	Peso Kg
14	7301,82	8823,64
12	1414,00	1255,37
<b>TOTAL =</b>		<b>10079,01</b>

VOLUMEN DE HORMIGON = 99,24 m3

ELABORACION DE: Paúl León

### TIPO DE HIERRO



CUADRO 5.4

## VOLÚMENES DE OBRA PARA POZO DE BANDEJAS CON “REJILLA HORIZONTAL”

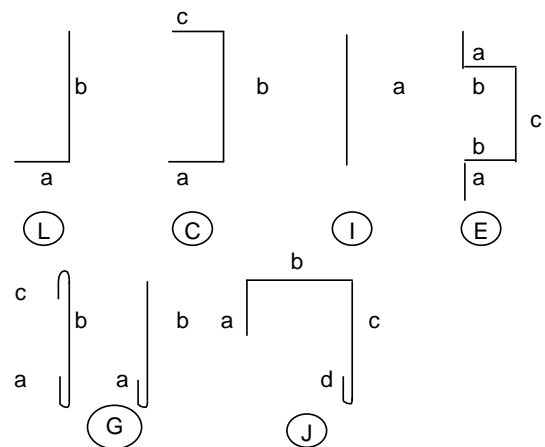
PLANILLA DE HIERROS POZO DE BANDEJAS CON REJILLA HORIZONTAL										
MARCA	φ mm	@ cm	Tipo	N°	Dimensiones (m)				Long. Corte	Long. Total
					a	b	c	d		
Mc 400	14	20	L	92	0,70	11,30			12,00	1104,00
Mc 401	14	20	G	300	0,10	3,40	0,10		3,60	1080,00
Mc 402	14	20	L	96	0,70	11,30			12,00	1152,00
Mc 403	12	20	C	300	0,27	3,40	0,27		3,94	1182,00
Mc 404	14	20	L	17	0,70	4,50			5,20	88,40
Mc 405	14	20	I	58	5,20				5,20	301,60
Mc 406	14	20	L	17	0,70	4,50			5,20	88,40
Mc 407	12	20	I	62	5,20				5,20	322,40
Mc 408	12	20	I	17	1,30				1,30	22,10
Mc 409	14	20	I	17	1,30				1,30	22,10
Mc 500	12	20	L	19	0,20	3,90			4,10	77,90
Mc 501	12	20	G	19	0,10	3,90			4,00	76,00
Mc 503	12	20	C	17	0,2	3,40	0,20		3,60	61,20
Mc 504	12	20	G	17	0,1	3,40	0,10		3,50	59,50
Mc 600	16	40	C	80	0,70	3,40	0,70		4,80	384,00
Mc 601	12	40	C	80	0,70	3,20	0,70		4,60	368,00
Mc P20	12	20	C	225	0,20	1,60	0,20		2,00	450,00
Mc P21	14	20	J	150	0,10	1,60			1,70	255,00
Mc P22	14	20	G	75	0,10	1,60	0,10		1,80	135,00
Mc P23	12	20	G	22	0,10	1,60	0,10		1,80	39,60
Mc P24	12	20	C	22	0,20	1,60	1,60		3,40	74,80
Mc P25	14	40	E	38	0,22	0,40	0,40		1,64	62,32

RESUMEN DE HIERROS		
φ mm	Longitud m	Peso Kg
16	384,00	606,08
14	4288,82	5182,68
12	2733,50	2426,85
<b>TOTAL =</b>		<b>8215,61</b>

VOLUMEN DE HORMIGON = 90,70 m3

ELABORACION DE: Paúl León

### TIPO DE HIERRO



Este pozo de revisión tendrá el mismo refuerzo y diseño estructural que el pozo de bandejas, conformado por una escalera marinera. Además descansos de 1.20 x 0.30 m, una compuerta de presión en cada nivel de bandeja.

### 5.5 CONCLUSIONES

Para los disipadores de energía con bandejas tipo “L” se obtienen momentos mayores en las bandejas con la condición de borde de lleno total, por lo cual exige una mayor armadura estructural. Además por ser un elemento que va funcionar monolíticamente aumenta en la estructura el refuerzo con relación a los pozos de bandeja de “rejilla horizontal”.

En el análisis estructural se notan ciertas secciones con momentos mayores, tal es el caso de la unión del canal de aproximación con la bandeja de entrada, esto se debe a la interacción del suelo-estructura; en general existe un momento uniforme constante en la estructura, por lo cual se puede diseñar la estructura con este momento y en la sección especial se puede diseñar un elemento que absorba el momento restante.

En la mayoría de los casos para muros no se necesita refuerzo por cortante, debido a que las secciones son relativamente grandes, debido al proceso constructivo, por ser una estructura enterrada se la puede dividir en secciones que tendrán las mismas características constructivas en cada nivel, lo cual permite reproducir la misma sección las veces que sean necesarias.

El volumen de obra para los pozos de bandeja con “rejilla horizontal” es menor que para los de bandeja tipo “L”.

Con respecto a la cimentación, se trata de diseñarla lo más elástica posible, con la finalidad que el suelo interactúe de mejor manera con la estructura, de manera que se deformen de manera similar entre sí, obteniendo así desplazamientos permitidos que no afecten a la estructura.

## **CAPITULO 6.**

## **6. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LOS PRINCIPALES RUBROS ESPECIALES**

### **6.1 SELECCIÓN DE LOS RUBROS**

Para la selección de los diferentes rubros se debe tomar en cuenta las principales tareas a realizar, entre estas se tiene:

- Excavación
- Desalojo de Materiales
- Acero de refuerzo
- Hormigón estructural
- Encofrados

Además de estos, de acuerdo a las necesidades, se puede analizar:

- Transporte de Materiales
- Aditivo para hormigones

Cada uno de estos deberá analizarse para mano de obra, equipo y materiales; por lo cual se debe tener muy en cuenta las unidades de cada rubro, las especificaciones técnicas, los volúmenes de obra, la calidad de los materiales que se pueda obtener. Sin perder de vista en donde se va a realizar la obra y que adversidades presenta.

En el cuadro 6.1 se presentan algunas especificaciones técnicas para los diferentes rubros.

#### **CUADRO 6.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.**

RUBRO	UNIDAD	ESPECIFICACION
Excavación	m3	Las excavaciones se realizarán para el emplazamiento del pozo de bandejas, las que pueden ser manuales o con maquinaria especial, de acuerdo a la necesidad. En el caso de requerirse se deberá entibar.
Desalojo de Materiales	m3	Posterior a la excavación se usará este rubro, cuando se necesite; el volumen será mayor que el de excavación.
Acero estructural	Kg	Es el acero de 4200 Kg/cm2 que se utiliza para el refuerzo de la estructura, solocado como se indica en los planos
Hormigón estructural	m3	Deberá tener una resistencia a la compresión de 210 kg/cm2 a los 28 días, la cual se comprobará por ensayos en laboratorio. Los agregados deben cumplir las normas
Encofrados	m2	Los encofrados a utilizarse en los elementos de hormigón serán lo suficientemente fuertes para resistir el peso del hormigón y evitar su desplazamiento y deflexión durante la vertida y vibrada. Construir los encofrados exactos a línea y nivel, que no dejen pasar el mortero y suficientemente rígidos para impedir el desplazamiento o el hundimiento entre soportes. Suministrar los soportes adecuados

ELABORACION DE: Paúl León

El hormigón consistirá de cemento Pórtland, agregados finos, agregados gruesos y agua mezclados de acuerdo con una proporción adecuada y amasados mecánicamente hasta producir una masa plástica cuyo grado de trabajabilidad esté de acuerdo al uso que se le dé. El hormigón podrá incluir aditivos tales como aceleradores de fraguado, impermeabilizantes y otros que el constructor estime conveniente.

Deberá tomarse muy en cuenta las dosificaciones y la calidad de los materiales (Normas INEN y ASTM) para obtener la resistencia deseada.

Se tomará en cuenta el curado de 7 a 15 días iniciando lo más pronto posible después de la fundición de los elementos; el desencofrado a partir de los 5 días en elementos horizontales y a partir de las 4 semanas para los verticales.

Un rubro que no se puede pasar por alto es el de nivelación y replanteo; mediante este se controlará los niveles y la correcta ortogonalidad entre los elementos.

Para los encofrados horizontales se usa apuntalamientos, para los encofrados verticales se usa entibamientos. Metálicos o de madera

## **6.2 RENDIMIENTOS DE MANO DE OBRA, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS**

Los rendimientos dependen del sistema constructivo, el lugar donde se realiza la obra, la experiencia del constructor, la dificultad de realizar las tareas, entre otros; por lo cual se puede obtener varios rendimientos para un mismo rubro.

Al realizar una oferta de estos depende el éxito o fracaso de la misma; sin embargo existen entidades como la Cámara de la Construcción de Quito y la J.N.V. de las cuales se pueden obtener algunos de los rendimientos deseados.

En el cuadro 6.2 se muestra los diferentes rendimientos para las diferentes actividades, así como también la cuadrilla de obreros necesaria.

### **CUADRO 6.2 RENDIMIENTO Y CUADRILLA TIPO.**

**RENDIMIENTO DE MANO DE OBRA EXPRESADOS EN HORAS/UNIDAD/HOMBRE**

FUENTE: CAMARA DE LA CONSTRUCCION DE QUITO

ITEM	DESCRIPCION	U	PEON	YUDANT	ALBAÑIL	CARPINTI	TIERRER	MAESTRC
1	REPLANTEO Y NIVELACION	M2			0,14			0,14
2	DESBANQUE MANUAL	M3	2,5					
3	EXCAVACION DE PLINTOS Y CIMIENTOS M	M3	2,5					
4	RELLENO COMPACTADO CON SUELO NAT	M3	1,8					
5	REPLANTILLO DE HORMIGON SIMPLE	M3	7,5		3			
6	LOSA DE HORMIGON SIMPLE	M3	11		6	5		0,8
7	ACERO DE REFUERZO	KG		0,05			0,03	
8	PUERTAS (COLOCACION)	U		1	1		1	0,5
9	INSTALACION DE CERRADURAS ESPECIAL	U		2			1	

**RENDIMIENTO HORAS - HOMBRE**

FUENTE: JNV

COD.	ACTIVIDADES	UNIDA	CUADRI	RENDIM.
10	REPLANTEO	M2	1T+2C	0,1
11	ENCOFRADO LOSAS	M2	1A+2P	0,667
12	DESENCOFRADO LOSAS	M2	2P	0,333
13	FUNDICION LOSA 30 CM	M2	4A+8P	0,2
14	HIERRO ESTRUCTURAL	KG	1F+2Ay	0,025

ELABORACION DE: Paúl León

Los rendimientos de mano de obra por lo general son los mismos para equipo y herramientas en un mismo precio unitario.

**6.2.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO**

La metodología de trabajo será la ubicación y provisión de los materiales y maquinaria requerida, con lo cual se iniciará las excavaciones, movimientos de tierra y desalojo de materiales en el área para la realización de la obra.

Por ser una obra que requiere de excavaciones verticales, se recomienda entibar las paredes laterales, con la finalidad de evitar posibles deslizamientos por la calidad del suelo.

Primero se deberá construir todos los muros en toda su longitud; para esto cada cierto nivel de profundidad se realizará la fundición perimetral de la estructura, y se continuará con la excavación y fundición de tramos hasta



alcanzar el nivel de cimentación. Se deberá dejar los hierros pasados para cada bandeja.

En el caso que se requiera habrá que hacer una compactación y mejora del suelo; para realizar una cimentación adecuada, a partir de la cual se comenzará la fundición de bandejas de abajo hacia arriba.

Debido al tiempo que un elemento horizontal debe permanecer apuntalado luego de su fundición y para continuar con el avance de obra, se usará el pozo de revisión para el retiro de apuntalamientos y encofrados, el cual tiene una compuerta en cada nivel de bandeja.

### **6.3 ELABORACIÓN DE PRESUPUESTOS REFERENCIALES DE LAS DOS VARIANTES**

Para el siguiente análisis de precios unitarios se tomara valores de mano de obra, equipo y materiales de la Cámara de Construcción de Quito, sin costos indirectos, por lo cual el presupuesto variara de acuerdo con la zona en donde se realice la obra y del riesgo de la misma. Ver rubros Anexo 6.

El presupuesto para las variantes se encuentra en las tablas 6.1 y 6.2, a continuación:

#### **TABLA 6.1 PRESUPUESTO REFERENCIAL POZO EN LABERINTO DE BANDEJAS TIPO "L".**

**PROYECTO: CONSTRUCCION POZO DE BANDEJAS TIPO L**

**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
RUBROS DE PRESUPUESTO REFERENCIAL  
MUROS, BANDEJAS, CIMENTACION Y COMPUERTAS**

**TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS**

<b>COD.</b>	<b>UNID.</b>	<b>CANT.</b>	<b>P. U.</b>	<b>TOTAL</b>	
<b>PRELIMINARES</b>					
1	DESALOJO DE MATERIALES	M3	120,00	4,28	513,60
2	NIVELACION	M2	234,00	0,56	131,04
3	EXCAVACION MANUAL	M3	254,00	5,67	1440,18
4	ENTIBAMIENTO HORIZONTAL	M2	234,00	17,75	4153,50
5	APUNTALAMIENTO TIPO LOSA	M2	69,75	18,77	1309,21
6	H. S. 210 KG/CM2	M3	99,24	83,45	8281,58
7	ENCOFRADO INCLUYE DESENCOFRAD	M2	496,98	5,42	2693,63
8	ACERO 4200 KG/CM2	KG	10079	1,04	10482,17
9	COMPUERTA DE PRESION	U	5,00	268,33	1341,65
				<b>TOTAL \$</b>	<b>30346,56</b>

ELABORACION DE: Paúl León

**TABLA 6.2  
PRESUPUESTO REFERENCIAL POZO DE BANDEJAS CON "REJILLA  
HORIZONTAL"**

**PROYECTO: CONSTRUCCION POZO DE BANDEJAS CON REJILLA HORIZONTAL**

**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
RUBROS DE PRESUPUESTO REFERENCIAL  
MUROS, BANDEJAS, CIMENTACION Y COMPUERTAS**

**TABLA 6.2, CONTINUACION**

### **TABLA DE CANTIDADES Y PRECIOS**

<b>COD.</b>	<b>UNID.</b>	<b>CANT.</b>	<b>P. U.</b>	<b>TOTAL</b>
1 DESALOJO DE MATERIALES	M3	120,00	4,28	513,60
2 NIVELACION	M2	234,00	0,56	131,04
3 EXCAVACION MANUAL	M3	254,00	5,67	1440,18
4 ENTIBAMIENTO HORIZONTAL	M2	234,00	17,75	4153,50
5 APUNTALAMIENTO TIPO LOSA	M2	45,00	18,77	844,65
6 H. S. 210 KG/CM2	M3	90,70	83,45	7568,92
7 ENCOFRADO INCLUYE DESENCOFRADO	M2	496,98	5,42	2693,63
8 ACERO 4200 KG/CM2	KG	8215,61	1,04	8544,23
9 COMPUERTA DE PRESION	U	5,00	268,33	1341,65
<b>TOTAL \$</b>				<b>27231,40</b>

ELABORACION DE: Paúl León

#### **6.4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Los pozos de bandejas de estas características necesitan de un pozo lateral de revisión, el cual encarece la estructura, pero permiten tener un mejor control y mantenimiento de la misma. Se recomienda construir la estructura de modo que un mismo eje horizontal pase por el centro de los dos pozos.

El pozo de bandejas tipo L presenta una geometría más complicada y cara de realizar en el proceso constructivo, por lo cual económicamente el pozo de bandejas con rejilla horizontal es de menor costo y de más fácil construcción. Se recomienda la fundición en sitio ya que los elementos prefabricados para este tipo de estructuras resultan de pesos considerables, lo cual encarece y dificulta aún más la obra por el tipo de maquinaria y cantidad de mano de obra a utilizar.

El hormigón de 210 kg/cm<sup>2</sup> no es difícil de obtener con materiales que no sean calidad óptima. En el caso que no se pueda alcanzar la resistencia del hormigón se deberá usar aditivos ensayados en laboratorio con muestras de los materiales a utilizar en obra.

Cada obra es diferente, debido a esto el proceso constructivo cambiará y por consiguiente los rendimientos. Por esto se aconseja tener muy claro el lugar de trabajo y los riesgos para la elaboración del presupuesto.

A pesar de que la estructura esta enterrada y no va a tener problemas de estabilidad, se puede decir que el pozo de bandejas con rejilla horizontal además de ser el más económico es el más estable por estar arriostrado en cada nivel de bandeja a los cuatro muros. Debido a esto se recomienda usar este tipo de estructuras como disipador vertical de energía en grandes caídas de agua.

## **CAPITULO 7.**

## **7. CONCLUSIONES SOBRE EL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LAS ESTRUCTURAS ENSAYADAS Y COMPARACIÓN DE COSTOS**

En este capítulo se concluye sobre el comportamiento de cada una de las subestructuras ante los fenómenos hidráulicos involucrados en el funcionamiento de las estructuras, así como también cual de las dos variantes en estudio es la más económica, sin perder de vista la eficiencia de cada una de las partes que conforman los pozos de bandejas.

### **7.1 SOBRE LA ESTABILIDAD DEL FLUJO DE CAÍDA LIBRE**

En los ensayos realizados en laboratorio, se tiene para los diferentes caudales, un flujo de aproximación que no tiene las características de estabilidad deseadas, debido a la entrega del flujo mediante un sistema de bombeo al canal de aproximación de los pozos de bandejas.

Tomando en cuenta las condiciones iniciales de entrada del flujo a la estructura se describe a continuación las observaciones realizadas dentro de cada una de las estructuras:

**Pozo de bandejas en laberinto**, el flujo en el canal de aproximación cumple con la teoría de canales abiertos, llegando al final de la primera bandeja con un flujo supercrítico; este es confinado por las paredes del pozo y la bandeja, pasando al siguiente nivel. Para caudales medios y altos el flujo pasa por la sección vertical conformada por la pared del pozo y la bandeja con alta velocidad y gran turbulencia produciéndose una rápida pérdida de energía y la formación de un colchón de agua al pie de la descarga y a su vez un resalto ahogado, este fenómeno se produce en cada uno de los restantes niveles de bandejas, hasta llegar al canal de salida con la entrega de un flujo con régimen

subcrítico mas uniforme y estable, y una notable disipación de energía. Para caudales bajos el flujo se apenas se escurre por la sección de confinamiento y pasa al siguiente nivel.

**Pozo de bandejas con rejillas horizontales**, de igual manera que para el caso anterior el flujo cumple con la teoría de canales abiertos, manteniendo un régimen subcrítico a lo largo del canal de aproximación; para caudales medios y altos el flujo pasa por las rejillas impactando en la pared de la estructura y se introduce dentro de una masa de agua, formándose el esperado resalto hidráulico. Para los caudales bajos no se registra la formación de resalto, lo cual se explica ya que el flujo en caída libre golpea directamente contra la bandeja inferior sin el amortiguamiento de un colchón de agua y por consiguiente una inadecuada disipación de energía.

En general para caudales medios y altos se puede observar en las fotografías la formación de un colchón de agua y del buen funcionamiento de las bandejas, que permiten la caída del flujo de manera estable del canal de aproximación al canal de salida.

De la formación del resalto según los cálculos hidráulicos y de las observaciones hechas en laboratorio, se concluye que las estructuras están trabajando como un dissipador de energía en todos los niveles de la misma.

## **7.2 SOBRE LA INTRODUCCIÓN DE AIRE**

La estructura esta diseñada para funcionar adecuadamente, la introducción de aire en la masa de agua es inevitable, y tampoco se puede dar un comportamiento definido de la Interacción flujo - aire – estructura, de manera que la aireación constante del flujo con presión atmosférica permite al fluido estar en rangos diferentes a los de la presión de vapor.

Para las dos variantes la introducción o salida de aire se produce generalmente cuando la lamina del flujo esta en caída libre, esto hace que el flujo cambie sus condiciones en la masa, de tal manera que se obtiene caudales fluctuantes.

La formación del colchón de agua permite que el riesgo de cavitación sea menor, ya que las velocidades del flujo son menores en cada bandeja y la caída del flujo esta amortiguada por el mismo. Sin embargo las sales y gases disueltos en el flujo agregando una mala construcción de la estructura pueden generar la formación y la implosion de bolsas de vapor, y por consiguiente cavitación.

### **7.3 SOBRE LA DISIPACIÓN GLOBAL DE ENERGÍA**

En los ensayos realizados en laboratorio tanto en el modelo como en el prototipo para los diferentes caudales se observa que la estructura funciona conjuntamente, ya que para la mayoría de niveles de bandeja se obtiene un resalto hidráulico para la mayoría de caudales de agua y por consiguiente la disipación de energía, para el cual son diseñadas estas estructuras.

De manera general, las bandejas tipo L y de rejilla horizontal responden a la presencia de los fenómenos involucrados en los sistemas de laboratorio. Lo cual permite declarar un buen funcionamiento de la estructura y sus componentes.

Al observar las estructuras en funcionamiento en el laboratorio, y con los resultados del análisis teórico, se determina que existe una disipación global de energía.

A continuación en la tabla 7.1 se establece una comparación entre las dos variantes según el porcentaje de disipación de energía de toda la estructura:

**TABLA 7.1  
TABLA COMPARATIVA DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA DE LAS DOS  
VARIANTES**

% DISIPACION GLOBAL DE ENERGIA						
CAUDALES	BAJOS		MEDIOS		ALTOS	
VARIANTE	Laberinto	Rejilla	Laberinto	Rejilla	Laberinto	Rejilla
% DISIPACION	92	86	87	82	84	74

ELABORACION DE: Paúl León

Los resultados en amarillo del cuadro anterior indican claramente que para los diferentes caudales ensayados en laboratorio la variante del pozo de bandejas en laberinto, tiene una disipación mas alta con respecto al de rejillas, de acuerdo con la relación al tipo de caudal de cada estructura.

#### **7.4 SOBRE LA ENTREGA DEL CAUDAL EN EL CONDUCTO HORIZONTAL INFERIOR**

La entrega del caudal en el conducto inferior se trata de un flujo estable, con bajas velocidades y con una clara disipación de energía; esto se da para las dos estructuras ensayadas en laboratorio.

La disipación de energía se refleja también el momento de tomar la medición de la carga sobre el vertedero, teniendo más claro que la entrega del caudal en esta zona de la estructura tiene baja velocidad.

**Pozo de bandejas en laberinto**, al final del canal de salida se dispone de un vertedero para medición, el cual confina temporalmente el flujo, creando un pequeño colchón de agua para la disipación de energía restante del sistema. El flujo se encuentra en régimen subcrítico, con velocidades mas bajas a las iniciales y más estable.

**Pozo de bandejas con rejillas horizontales**, de la misma manera que para el pozo en laberinto.

#### **7.5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS COSTOS DIRECTOS**



Los costos directos de cada rubro para las dos variantes son los mismos, por el método constructivo que se utiliza.

Para el diseño estructural se toma como base una geometría similar para los dos tipos de pozo, con variación solamente en la geometría de las bandejas para cada tipo y las distancias entre cada una de ellas. De esta manera difícilmente se establecen diferencias en cuanto a un cambio significativo en el análisis de cada uno de los costos directos.

En la tabla 7.2 se encuentra la comparación de costos directos del presupuesto total para la construcción de las variantes de las dos estructuras:

**TABLA 7.2**  
**TABLA COMPARATIVA DE COSTO DIRECTO DE LAS DOS VARIANTES**

VARIANTE	COSTO DIRECTO	
	Laberinto	Rejilla
VALOR en USD	30346,56	27231,4

ELABORACION DE: Paúl León

El valor en amarillo de la tabla 7.2, representa la opción más económica entre las dos variantes, el cual pertenece al pozo de bandejas con rejilla horizontal.

## **7.6 SELECCIÓN DE LA VARIANTE DE MENOR COSTO**

De lo expuesto en las conclusiones del capítulo anterior, se obtiene que la variante de menor costo, es la estructura con rejilla horizontal.

Además se debe tomar en cuenta que el pozo de bandejas con rejilla horizontal no solo es la variante de menor costo, sino también es de más fácil construcción en cada una de sus bandejas por la cantidad de encofrado y de apuntalamiento que se debe usar.

## **CAPITULO 8.**

## **8. RECOMENDACIONES PARA EL ESTUDIO EXPERIMENTAL POSTERIOR**

En el capítulo final del presente proyecto de titulación se pretende dar recomendaciones acordes con los trabajos realizados en laboratorio para estudios experimentales posteriores de estructuras de disipación de energía como las variantes ensayadas.

### **8.1 RECOMENDACIONES RESPECTO DE LA ESTRUCTURA DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA**

Luego del estudio realizado con las presentes variantes y de su eficiencia en la disipación de energía, la principal recomendación respecto a la realización de nuevos ensayos es la de realizar estructuras de similares características variando el área de caída del flujo como también de los ángulos de las bandejas con respecto a la horizontal, con la finalidad de tratar de establecer ecuaciones que permitan conocer el comportamiento del flujo dentro de la estructura.

Los estudios posteriores deben tratar de encontrar un rendimiento óptimo para este tipo de variantes de pozos de bandejas.

De los estudios en proyectos anteriores y de los presentes estudios, se recomienda:

- Eliminar la pantalla de impacto, por no tener funcionalidad para los caudales más comunes y de mayor importancia.
- Regular la distribución del flujo de aproximación en el modelo mediante una rejilla con orificios tal como en el prototipo.

Además se recomienda hacer un pozo rectangular con la longitud mayor en dirección del flujo, para mejorar la formación de un resalto.

## **8.2 RECOMENDACIONES RESPECTO DEL MODELO FÍSICO**

Se recomienda alargar la dimensión del pozo en la dirección del flujo, para tener una sección de control más grande y permitir una mejor formación del resalto hidráulico.

Se recomienda construir estos modelos con materiales de mayor rigidez, para evitar la presencia de vibraciones inducidas.

Con respecto del modelo físico se recomienda estudios experimentales posteriores, en los cuales se permita variar las dimensiones y formas de las subestructuras así como también de los ángulos de inclinación de las bandejas, para determinar diferentes rendimientos dentro de una misma estructura.

Los modelos ensayados permiten observar la clara disipación de energía por lo cual se recomienda reemplazar la medición de presiones a base de piezómetros; y de calados por medio de cinta por instrumentos electrónicos de precisión capaces de medir con exactitud los indicadores expuestos.

Para la geometría se recomienda disponer las bandejas a una misma distancia a todo lo largo del pozo empezando desde la bandeja que se ubica al final del canal de aproximación.

Con los estudios del presente proyecto de titulación sobre el comportamiento de estructuras de disipación de energía como los pozos de bandejas se puede crear una base de diseño hidráulico y estructural para uso de la EMAAP-QUITO, de acuerdo con los requerimientos necesarios; por lo cual se recomienda este proyecto de titulación como una guía para el diseño de estas estructuras.

### **8.3 RECOMENDACIONES RESPECTO AL COSTO**

Se recomienda realizar estudios posteriores en donde se tomen dos variantes de bandejas con rejilla horizontal, con diferentes procesos constructivos, para poder analizar cual es más óptima.

Para el control y desalojo de encofrados y apuntalamientos se propuso un pozo lateral de revisión, el cual podría variar sus dimensiones desde 0,80 x 0,80 hasta 1,20 x 1,20 m, lo cual variaría el costo. Este pozo se puede suprimir haciendo tapas móviles en las bandejas por medio de las cuales se acceda a los niveles inferiores, sin embargo esto no es aconsejable por la facilidad de control para lo cual fue concebido y el peso excesivo de cada tapa.

La eliminación del pozo de revisión abarataría considerablemente el costo de la estructura.

De lo expuesto en el párrafo anterior se debe tomar en cuenta que este pozo es muy útil hidráulica y constructivamente, por lo que se recomienda variar sus dimensiones, ya que eliminarlo podría generar mayores gastos de mantenimiento a futuro.

## **CAPITULO 9.**

### **9.1 BIBLIOGRAFÍA**

- Elevatorsky, N.: “Energy Dissipators”. Engineering Monograph, No. 29, USA Army Corps of Engineers.
- Ranga Raju, K.G.: “Flow through Open Channels”. Tata McGraw-Hill Co., 1981.
- Hwang, N.H.C.: “Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems”, Prentice-Hall Inc. 1981.
- Castro D., M.: “Diseño de Transiciones”. Monografía, Departamento de Hidráulica y Recursos Hídricos, 1985, Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Miller, D.S. 1994, “Discharge Characteristics” IAHR Hydraulic Structures Design Manual, Nr. 8. Editorial Verlag A. A. Balkema, Rotterdam, Holanda.
- Hidalgo, M., “Introducción a la teoría de modelos Hidráulicos y aplicaciones básicas” Departamento de Hidráulica, EPN
- Estudios de Alcantarillado realizados en Quito con descarga tipo Bandeja.

- Krochin, S. "Diseño Hidráulico"  
Editorial Universitaria 1968
- Cámara de la construcción de Quito, "Manual de costos en la construcción"  
Quito – Ecuador 2004, Octava edición
- Alban, F. "Curso de análisis de precios unitarios"  
2001, EPN
- ACI - 95