

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Desarrollo de un modelo hidráulico a escala reducida de un Vertedero a Vórtice para el equipamiento del Laboratorio de Hidráulica en la Universidad San Francisco de Quito.

Sergio Antonio Villanueva Hoyos

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de:
Ingeniero Civil

Quito, Diciembre de 2009

Universidad San Francisco de Quito
Colegio Politécnico

HOJA DE APROBACION DE TESIS

Desarrollo de un modelo hidráulico a escala reducida de un Vertedero a
Vórtice para el equipamiento del Laboratorio de Hidráulica en la
Universidad San Francisco de Quito.

Sergio Antonio Villanueva Hoyos

Ing. Miguel Araque

Director de Tesis y

Miembro del Comité de Tesis

Ing. Fernando Romo

Decano del Colegio Politécnico

Y Miembro del Comité de Tesis

Quito, Diciembre de 2009

© Derechos de Autor
Sergio Antonio Villanueva Hoyos
2009

Dedicatoria

A Dios que es el que de una u otra manera ha logrado que todo esto sea posible.

A mis padres que me han dado el apoyo necesario a lo largo de toda mi vida y que verán plasmado en esta disertación el fruto de todo su esfuerzo.

Resumen

La Universidad San Francisco de Quito cuenta con una infraestructura y un personal docente de primera calidad en la carrera de Ingeniería Civil, sin embargo carece de laboratorios para dicha carrera. Es por esto que varios compañeros hemos emprendido el proyecto de equipar a la Universidad San Francisco de Quito con un laboratorio de hidráulica que permita complementar todos los conocimientos obtenidos en las aulas y afianzarlos por medio de la experimentación para así estar mejor preparados para nuestra vida profesional.

El modelo hidráulico a escala reducida del Vertedero a Vórtice es uno de los modelos que formará parte de dicho laboratorio. En este modelo podremos apreciar el funcionamiento de un vertedero a vórtice, sus propiedades hidráulicas, sus puntos críticos y sus aplicaciones en la vida real.

Abstract

University San Francisco of Quito counts with one of the best infrastructure and human resource of the country in respect with education and the Civil Engineer Career, however, the career's weak point is the lack of laboratories. This is the reason why some fellows and I have decided to implement the hydraulics laboratory for University San Francisco of Quito, the idea of this laboratory is to complement the theoretical education with an experiment based knowledge so that we can graduate better prepared for the challenges of our professional life.

The scale reduced Vortex is the model I will equip the laboratory with. In this model we will be able to observe it's performance, it's hydraulic properties, it's critical points and it's applications.

Tabla de Contenido

1. Capítulo I:	1
1.1. Introducción	2
1.2. Similitud Hidráulica	5
1.2.1. Similitud Geométrica	5
1.2.2. Similitud Cinemática	5
1.2.3. Similitud Dinámica	5
1.3. Condiciones de Similitud	7
1.3.1. Similitud de Reynolds	7
1.3.2. Similitud de Froude	9
1.4. Escala en Modelos Hidráulicos	11
1.5. Efectos de Escala	13
1.6. Tipos de Modelos Hidráulicos	14
1.6.1. Modelo de Fondo Móvil	14
1.6.2. Modelo de Fondo Fijo	15
2. Capítulo II:	16
2.1. Introducción	17
2.2. Necesidad del Modelo Hidráulico	19
2.3. Información Requerida para el Estudio del Modelo	21
2.3.1. Costo del modelo	21
2.3.2. Justificación Técnica del Modelo	21

2.3.3.	Oportunidad de un Modelo.....	22
2.4.	Objetivos de la Modelación y Alcance de la Investigación.....	24
2.4.1.	Objetivos de la modelación Hidráulica.....	24
2.4.2.	Alcance de la Investigación.....	24
2.5.	Similitud y Selección de la Escala del Modelo.....	25
2.6.	Descripción del Modelo en el Laboratorio.....	25
2.6.1.	Generalidades sobre la Instalación.....	26
2.6.2.	Material Seleccionado para la construcción del Modelo.....	27
2.6.3.	Generalidades sobre la Infraestructura.....	29
2.6.4.	Dimensiones Básicas.....	32
2.7.	Control de Calidad del Funcionamiento del Modelo.....	36
3.	Capítulo III:.....	38
3.1.	Generalidades de las Estructuras de Disipación de Energía en Sistemas de Alcantarillado Pluvial o Combinado.....	39
3.1.1.	Pozo con Caída Libre.....	40
3.1.2.	Canal de Pendiente Fuerte con Lecho Disipador.....	41
3.1.3.	Vertedero a Vórtice.....	41
3.2.	Objetivos de la Disposición del Vertedero a Vórtice.....	43
3.3.	Definiciones y Características de tipos de Vertederos a Vórtice.....	48
3.3.1.	Canal o Colector de Entrada.....	48
3.3.2.	Cámara de Entrada.....	50
3.3.3.	Tubo Vertical o Pozo.....	52
3.3.4.	Cámara de Disipación al Pie.....	55
3.3.5.	Colector de Entrega.....	57
4.	Capítulo IV:	59

4.1. Sistema de Medición y Toma de Datos.....	60
4.2. Plan de Pruebas.....	61
4.3. Descripción de los Diferentes Ensayos de Laboratorio.....	63
4.3.1. Ensayo de Laboratorio #1.....	63
4.3.2. Ensayo de Laboratorio #2.....	64
4.3.3. Ensayo de Laboratorio #3.....	65
4.3.4. Ensayo de Laboratorio #4.....	67
5. Capítulo V:	69
5.1. Análisis de los Resultados Obtenidos.....	70
5.1.1. Tanque de Carga y Cámara de Entrada.....	70
5.1.2. Tubo Vertical.....	70
5.1.3. Cámara de Disipación al Pie.....	71
6. Capítulo VI:	72
6.1. Conclusiones.....	73
6.2. Recomendaciones.....	74
7. Capítulo VII:	76
7.1. Bibliografía.....	77
8. Capítulo VIII:	79
8.1. Anexo.....	80
8.1.1. Formato para Práctica de Laboratorio.....	81
8.1.2. Datos Arrojados por el Modelo para Flujo Libre.....	83
8.1.3. Datos Arrojados por el Modelo para Flujo Mínimo.....	86
8.1.4. Datos Arrojados por el Modelo para Flujo Promedio.....	89
8.1.5. Datos Arrojados por el Modelo para Flujo Máximo.....	92

INDICE DE FIGURAS

1. Modelo Hidráulico del Vertedero a Vórtice.....	26
2. Canal de Conducción y Tanque de Reserva de la Bomba.....	27
3. Canal de Entrada, Tubo Vertical y Tanque de Llegada.....	28
4. Vertedero a Vórtice.....	29
5. Bomba.....	30
6. Regulador de Nivel para Tanque de Carga.....	30
7. Cámara de Entrada y Compuerta de Regulación de Caudales.....	31
8. Render, Vista Lateral Derecha.....	33
9. Render, Vista Lateral Izquierda	33
10. Render, Vista Frontal	34
11. Render, Vista Posterior.....	34
12. Render, Vista en Planta	35
13. Llave de Paso Adicional.....	37
14. Cambios Bruscos de Nivel.....	40
15. Elementos de un Vertedero a Vórtice.....	46
16. Tipos de Unión de Colectores.....	47
17. Estructura Helicoidal del Vertedero a Vórtice.....	51
18. Perfil Longitudinal y Sección Transversal para flujo Supercrítico.....	54
19. Cámara de Disipación al pie.....	56
20. Variantes para Mejorar la Disipación de Energía.....	57

21.	Gráficos para Carga de Velocidad y Sobre Elevación, Flujo Libre.....	85
22.	Gráficos para Carga de Velocidad y Sobre Elevación, Flujo Mínimo.....	88
23.	Gráficos para Carga de Velocidad y Sobre Elevación, Flujo Promedio.....	91
24.	Gráficos para Carga de Velocidad y Sobre Elevación, Flujo Máximo.....	94

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCION

Muchos fenómenos que ocurren en la naturaleza y dentro del campo de la hidráulica son tan complejos que no es fácil tratarlos únicamente con métodos matemáticos, es conveniente recurrir al empleo de técnicas experimentales, como herramienta en la obtención de soluciones prácticas aplicadas a problemas de ingeniería y obras hidráulicas en general.

En hidráulica, el termino modelo corresponde a un sistemas que simula un objeto real llamado "prototipo", mediante la entrada de cierta información, se procesa y se obtiene información para emplearse en el diseño y operación de obras de ingeniería civil. Un modelo físico a escala reducida es una representación de un objeto real o prototipo, y cumple ciertas condiciones matemáticas definidas.

El uso de modelos físicos a escala reducida, llamados simplemente modelos hidráulicos, obliga a que estos deben satisfacer las leyes de similitud geométrica, cinemática y dinámica, que en conjunto relacionan magnitudes físicas homologas definidas entre ambos sistemas.

Cuando se va a realizar una comparación con respecto a la similitud geométrica se definen puntos homólogos sobre los cuales se determinan

magnitudes tales como velocidad, presión, etc.; de igual manera se definen lados superficies y volúmenes homólogos. La similitud geométrica implica una relación constante para cualquier longitud (L), esta relación es denominada “escala de líneas de longitudes”.

Cuando la comparación entre el prototipo y el modelo es con relación a un movimiento, se establece entonces similitud cinemática; esta se cumple cuando la forma de los patrones de flujos son iguales en cualquier tiempo, es decir, hay similitud en el movimiento de los sistemas. Es por esto que la relación de velocidades entre estos puntos debe ser constante y es denominada “escala de velocidades”. Es un requisito que se cumpla con la similitud geométrica para que se satisfaga la similitud cinemática.

El movimiento de un fluido en el modelo y en el prototipo , para que sea similar en forma completa, no es suficiente con que se cumpla con las similitudes geométricas y cinemática, es necesario tomar en consideración la acción de fuerzas sobre las partículas de un fluido, tales como fricción, tensión superficial, gravedad, peso, fuerzas de inercia, etc. Lo anterior implica que la relación de fuerzas homologas también debe ser constante, estableciéndose así la “escala dinámica de fuerzas”.

La ingeniería hidráulica siempre se ha basado en la experimentación. Un estudio de la historia de la hidráulica (Rouce e Ince, 1963) indica que se

han alternado periodos de investigación experimental con periodos de análisis.

Durante el siglo XX, la ingeniería hidráulica se vio beneficiada, en gran medida, por los desarrollos de las teorías de capa límite y turbulencia en el campo de la mecánica de fluidos. Antes de estos desarrollos y de la llegada de la computadora digital de alta velocidad, muchos de los problemas en el campo de la hidráulica solo se podían resolver con el estudio de los modelos. En la actualidad el enfoque dual de estudios teóricos y de modelos están a disposición de los ingenieros.

El empleo de modelos en el ambiente de laboratorio, para la solución de problemas de la ingeniería hidráulica, requiere un entendimiento claro y preciso de los principios de similitud.

En los años recientes, los proyectos de recursos de agua y trabajos de ingeniería hidráulica, se han desarrollado rápidamente a través del mundo.

El conocimiento de la hidráulica de canales abiertos es esencial para el diseño de muchas estructuras hidráulicas lo que ha permitido avanzar a grandes saltos.

1.2 SIMILITUD HIDRAULICA

1.2.1. Similitud geométrica

Dos objetos son geoméricamente similares si las razones de sus dimensiones correspondientes son iguales. Por esto la similitud geométrica se refiere solo a similitud de forma.

1.2.2. Similitud cinemática

Dos movimientos son cinemáticamente similares si:

- a) Los patrones de dicho movimiento son geoméricamente similares
- b) Las razones de velocidad de la partículas involucradas en los dos movimientos son iguales

1.2.3. Similitud Dinámica

Dos movimientos son dinamicamente similares si:

- a) Las razones de las masas de los objetos involucrados son iguales
- b) Las razones de la fuerza que afectan al movimiento son iguales.

“Obsérvese que aunque la similitud geométrica y cinemática se pueden lograr en la generalidad de la situaciones de el modelaje

hidráulico, la similitud dinámica es un ideal que raramente se puede lograr en la práctica” (anónimo 1942)

1.3. CONDICIONES DE SIMILITUD

El principio de similitud consiste en aceptar que las conclusiones obtenidas del análisis de un fenómeno son aplicables a otro fenómeno. Por ejemplo, del estudio del salto hidráulico que ocurre en un modelo se pueden obtener conclusiones aplicables al salto hidráulico que ocurre en la naturaleza.

Cuando esto es cierto se dice que ambos fenómenos son similares. El modelo no puede ser simplemente una imitación de la naturaleza. Tampoco puede ser una representación física de un modelo matemático. El modelo debe contener alguna de las cualidades del prototipo que trata de representar. Así por ejemplo, en el modelo de un salto hidráulico, esta la igualdad del número Froude, con un grado aceptable de turbulencia, y además, la similitud geométrica.

Las condiciones de la similitud que se utilizan en los modelos hidráulicos, se obtienen a partir de los números de Reynolds y Froude.

1.3.1. Similitud de Reynolds

Establece que dos flujos no afectados por la gravedad son dinámicamente semejantes si los números de Reynolds son iguales.

(Editorial Schaun "Mecánica de Fluidos e Hidráulica")

Numero de Reynolds

Este número recibe su nombre en honor a Osborne Reynolds (1842-1912), quien lo escribió en 1883. Viene dado por la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu} = \frac{v_s D}{\nu}$$

Donde:

ρ : Densidad del fluido [kg/m³]

v_s : Velocidad característica del fluido [m/s]

D: Diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido [m]

μ : Viscosidad dinámica del fluido [N.s/m²]

ν : Viscosidad cinemática del fluido [m²/s]

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

El número de Reynolds es la razón entre las fuerzas de inercia y las viscosas. Para que exista la similitud de Reynolds de cumplirse que:

$$Re_m = Re_p$$

Donde:

Re m: Número de Reynolds del modelo

Re p: Número de Reynolds en el prototipo

1.3.2. Similitud de Froude

Establece que dos flujos de fluidos no afectados por fuerzas viscosas son dinámicamente semejantes si los números de Froude son y permanecen iguales. (Editorial Schaun “Mecánica de Fluidos e Hidráulica”)

Número de Froude

Es un número adimensional que relaciona el efecto de las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido.

$$Fr^2 = \frac{v^2}{gl}$$

Donde:

l = parámetro de longitud [m]

v = parámetro de velocidad [m/s]

g = aceleración de la gravedad [m/s^2]

Para que exista la similitud de Froude de cumplirse que:

$$Fr_m = Fr_p$$

Donde:

Fr_m : Número de Froude del modelo

Fr_p : Número de Froude en el prototipo

Esta similitud tiene gran importancia donde existen flujos a superficie libre, en la práctica, la similitud de Froude puede ser aplicada si los flujos en los dos sistemas son del tipo turbulento rugoso cuidando que una condición suplementaria relativa a la rugosidad sea cumplida.

1.4. ESCALA EN MODELOS HIDRAULICOS

Cuando se planifica una investigación en modelos hidráulicos, se busca reproducir de la mejor manera y del modo más completo posible las condiciones que se encuentran en la naturaleza. Esto no siempre es posible ya que la naturaleza es demasiado compleja y su reproducción total nunca puede lograrse. Debido a la complejidad de la naturaleza, el camino a seguir es el de la simplificación de tal manera que se pueda reproducir un aspecto o una parte de algún fenómeno y tratar de obtener la mayor semejanza posible.

En la hidráulica existe la ventaja que la mayoría de sus modelos pueden representarse físicamente a escala. A través de los años se ha desarrollado la teoría de modelos, que consiste en aceptar y aplicar el principio de semejanza. Una de las grandes ventajas de los modelos hidráulicos y a su vez su dificultad es que cada modelo a la vez de representar su prototipo, es en si el prototipo. Lo que implica que un modelo no es una maqueta.

En la teoría de los modelos físicos se habla frecuentemente del prototipo para referirnos a aquello que se va a estudiar. Por lo tanto, para la selección de escalas se requiere no sólo el conocimiento de las circunstancias teóricas aplicables, sino también de las vinculadas al

laboratorio en el que se va a realizar la investigación tales como espacio disponible, capacidad de bombas, precisión de instrumento a utilizarse y muchos factores más. Lo que implica que la escala tiene poco que ver con tal que se guarde el principio de similitud.

El establecimiento de las condiciones de frontera es sumamente importante y requiere de mucha experiencia. Como consecuencia de las escalas escogidas, puede ocurrir que aparezcan ciertos fenómenos distintos que no corresponden a lo que se presentan en la naturaleza. Estos fenómenos propios del modelo y de la escala escogida reciben el nombre de efectos de escala. Al respecto hay que tener cuidado, por ejemplo, con los fenómenos originados por la tensión superficial, propia del modelo y no del prototipo.

El criterio de similitud escogido, la selección de escalas, la determinación de los límites del modelo y la consideración de los efectos de escala son de primerísima importancia para interpretar adecuadamente los resultados del modelo.

1.5 EFECTOS DE ESCALA

Los efectos de escala pueden definirse como las distorsiones introducidas por factores como viscosidad, tensión superficial, diferentes del que predomina como la gravedad. Estos ocurren cuando uno o más de los parámetros a dimensionales son diferentes entre el modelo y el prototipo.

Por ejemplo en un desbordamiento por encima de un vertedero, el fluido se encuentra sujeto a alguna resistencia viscosa a lo largo de la cara de aguas arriba. Sin embargo la resistencia no afecta en forma significativa al flujo por encima de la cresta, los efectos viscosos son pequeños y la relación caudal – cabeza puede ser deducida como se haría para el flujo de un fluido ideal.

En flujos de superficie libre, el efecto gravitacional es dominante. Si se utiliza el mismo fluido, tanto en el modelo como en el prototipo, es imposible mantener al mismo tiempo los números de Froude y de Reynolds. (“Consideraciones generales sobre modelos hidráulicos” Rocha, Arturo.

1.6 TIPOS DE MODELOS HIDRAULICOS

El modelo de cualquier elemento hidráulico como un canal o captación puede ser construido con fronteras fijas o móviles dependiendo de las respuestas que se espera obtener del modelo, tomando en cuenta este criterio existen dos tipos de modelos:

1.6.1 Modelo de fondo móvil

Se utiliza comúnmente cuando es muy importante el movimiento de materiales que componen el fondo de un canal y los taludes. Este tipo de modelos pueden emplearse para abarcar los siguientes problemas:

- Morfología de ríos, cambios de pendiente y de secciones transversales, arrastre de sedimentos
- Encauzamiento de ríos, eliminación de curvas, reubicación de canales.
- Desarrollo de llanuras de inundación.
- Ubicación y diseño de pilas de puentes
- Cruce de tuberías.

1.6.2. Modelos de fondo fijo

Para estudios de ríos o canales en los que no es importante el movimiento del fondo, puede emplearse un modelo no distorsionado o distorsionado, dependiendo de las características del flujo que se desea representar. Se recomienda el uso de un modelo no distorsionado si el estudio involucra la reproducción de un flujo supercrítico, transiciones, patrones de onda o perfiles de la superficie del agua. Si se desea reproducir la capacidad de almacenamiento, entonces el empleo de un modelo distorsionado resulta.

El uso de un modelo no distorsionado representa para un modelador un mínimo de problemas en su diseño y análisis. En un modelo con escalas distorsionadas, la dificultad radica en asegurar que el modelo sea lo suficientemente rugoso para que no se distorsione la conversión de energía cinética a potencial y viceversa.

En relación con los modelos de fondo fijo, el diseño y la operación de un modelo de fondo móvil es más complejo.

CAPITULO II

2.1 INTRODUCCION

Cada vez que le ingeniero se enfrenta con el problema de diseñar una estructura tiene que resolver simultáneamente varios aspectos como lo son el económico, la eficiencia y la seguridad lo que implica establecer la relación entre la estructura y el medio en la que será utilizada.

Uno de los instrumentos más poderosos que están disponibles para el ingeniero con el fin de comprender el comportamiento del agua en la naturaleza y su interacción con las estructuras son los modelos físicos y matemáticos que a su vez guardan una estrecha relación entre sí.

Un modelo físico o matemático no es más que una representación simplificada de la naturaleza en uno o más aspectos. La construcción de modelos son una herramienta necesaria para el progreso de la ciencia y han sido utilizados a lo largo de la historia del progreso de la misma. Especialmente con la aparición del método científico.

La palabra modelo no es utilizada estrictamente en la hidráulica. Un modelo es toda esquematización de la realidad realizada con el fin de estudiar ciertos fenómenos. La palabra esquematización implica simplificar. Esta concepción teórica implica por ejemplo tomar consideraciones como la de tomar al escurrimiento como un coeficiente de rugosidad que es

erróneamente independiente a ciertos aspectos del líquido como las concentraciones de los sólidos en suspensión sin embargo dicha consideración es válida con fines investigativos.

Los modelos hidráulicos se basan en prototipos, sin embargo como muchos de los factores son controlables casi en un 100%, se alejan un poco de la realidad. Es decir se realizan estudios idealizados pero al cumplir con la teoría de similitud hidráulica, nos sirve para resolver problemas y cumplir con los objetivos planteados para el diseño de obras hidráulicas.

2.2 NECESIDAD DEL MODELO HIDRAULICO

La decisión a tomar para saber si se debe realizar una investigación o un diseño con el uso de modelos hidráulicos depende estrictamente de puntos como la importancia del proyecto, el costo y la complejidad del mismo. Es decir, para proyectos de un costo elevado y cuyo impacto puede ser desastroso en caso del colapso del mismo deben ser estudiados al detalle y con la ayuda de la herramienta principal que es el modelo. Otra circunstancia en la que se vuelve imperioso el uso de un modelo hidráulico es cuando la teoría requerida para el diseño de una obra es incompleta, inaplicable o inexistente. Sin embargo en proyectos de bajo costo, fáciles de reparar y de baja incidencia en caso de un colapso puede no ser necesario el estudio en un modelo hidráulico.

Por otro lado, las fórmulas utilizadas para el diseño hidráulico en su mayor parte son idealizaciones del mundo natural en 2 dimensiones. Pero también hay consideraciones adicionales como la posibilidad de realizar un ahorro en una estructura. Este ahorro puede ser determinado por la experiencia o por la determinación de estructuras eficientes y seguras comprobadas mediante un cálculo y con su comportamiento en un modelo.

Otro motivo para realizar una investigación con un modelo es la de elevar el grado de seguridad de una estructura pudiendo prever e intuir posibles

fallas a partir de la observación de la interacción del agua con la estructura en cuestión. Todas y cada una de estas razones planteadas pueden ser independientemente la justificación de realizar o no una investigación con un modelo hidráulico.

2.3 INFORMACIÓN REQUERIDA PARA EL ESTUDIO DE UN MODELO

Los parámetros a tomarse en cuenta para la construcción de un modelo hidráulico son los siguientes:

2.3.1. Costo del modelo:

Una de las principales preguntas cuando llega el momento de decidir si se realiza un modelo es el costo del mismo. De hecho este costo es relativo ya que hay que tomar en cuenta las seguridades adicionales que brinda un estudio de este tipo y en comparación con el costo total del proyecto es insignificante.

2.3.2. Justificación técnica del modelo

Una de las principales justificaciones es la de poder apreciar a los flujos de una manera tridimensional. Esta es una gran ventaja ya que la mayoría de las fórmulas en la hidráulica son bi dimensionales.

Los modelos hidráulicos permiten la observación y la variación de una manera sencilla de diversas condiciones de diseño y operación. Se pueden variar caudales, cantidad de sólidos, etc. con gran facilidad. Como se ha dicho anteriormente lo mejor del uso de

modelos hidráulicos es que se pueden controlar y describir casi por completo los fenómenos relacionados con la naturaleza, cosa que es muy complicada mediante el uso único de fórmulas matemáticas. Los modelos hidráulicos permiten también el estudio y análisis de varias alternativas de diseño.

Los modelos hidráulicos también son muy útiles cuando se trata de establecer y ensayar reglas de operación. Se sabe que la determinación de la mejor forma de operación de una estructura es un proceso de continuo mejoramiento. Es decir que la primera versión de la estructura es ofrecida por el proyectista. Después de las investigaciones se concluye otra versión que es la que se implementará. De ahí con la experiencia se pueden ir haciendo mejoras para aprovechar de mejor manera la obra. Estas razones pueden ser suficientes para justificar técnicamente un modelo hidráulico.

2.3.3 Oportunidad de un modelo

Un pensamiento erróneo suele ser que el estudio con el modelo hidráulico debe ser realizado una vez que se haya culminado la investigación teórica, sin embargo lo mejor sería realizar ambas de una manera simultánea para poder perfeccionar algunos detalles y lograr un estudio más completo.

La necesidad de realizar un estudio con modelos hidráulicos puede surgir de la necesidad de encontrar estructuras más seguras y menos costosas. Los modelos hidráulicos forman parte fundamental de esta misión ya que mediante la experimentación se pueden disminuir márgenes y coeficientes de seguridad que a veces resultan excesivos.

2.4. OBJETIVOS DE LA MODELACIÓN Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. Objetivos de la modelación hidráulica

Analizar las condiciones del flujo de aproximación en la cámara helicoidal, así también como las condiciones del flujo subcritico en la cámara helicoidal y las condiciones del flujo a superficie libre en la cámara de entrada. Adicionalmente, determinar las bases diseño hidráulico y dimensionamiento estructural para el vertedero a vórtice.

2.4.2. Alcance de la investigación

Se realizará una recolección y revisión de la información técnica básica para la ejecución del proyecto, se deberá seleccionar la escala del modelo así también como sus condiciones de similitud dinámica y otras relaciones que se determinarán por medio de los distintos ensayos en el laboratorio. Se dimensionará y construirá el modelo hidráulico, se elaborará un plan de pruebas y las respectivas curvas de diseño.

2.5. SIMILITUD Y SELECCIÓN DE LA ESCALA DEL PROYECTO

Para la selección de la escala se debe tomar en cuenta ciertos factores determinantes como lo es el espacio físico disponible, el tiempo pre destinado a la elaboración del mismo y el presupuesto destinado a dicho proyecto.

En el vertedero a vórtice, las fuerzas naturales predominantes para el movimiento helicoidal son las de inercia y gravedad, es por esto que se determina que el modelo funcionará con el criterio de la similitud de Froude.

Para este modelo se ha seleccionado la escala de 1:18 para minimizar los efectos combinados de tensión superficial y viscosidad. Ciertas fuentes citan que se debe mantener una escala menor a 1:20 para lograr esta condición. Por lo tanto este modelo lo satisface.

Este modelo hidráulico está construido de acrílico en todas las partes de conducción de agua, para este material, la rugosidad está en el orden de 0.0015mm y el coeficiente de rozamiento "n" está en el orden de 0.010.

Dadas estas condiciones, se obtiene que los valores para el número de Froude en este modelo están por debajo de 1, esto implica que el flujo es de tipo subcrítico. Es decir que el flujo es no turbulento y sin mayores fluctuaciones en la superficie libre de agua.

2.6. DESCRIPCION DEL MODELO EN EL LABORATORIO

Descripción de las estructuras de entrada, del modelo y de las obras complementarias

2.6.1. Generalidades sobre la instalación

El modelo cuenta con varios recipientes de tal manera que se puede reciclar el agua, es por esto también de la enorme utilidad de la bomba ya que nos ayuda a re circular el agua.



Figura 1: Modelo hidráulico del vertedero a vórtice

No se recomienda el uso de ningún tipo de tintes para el agua ya que con el tiempo estos pueden manchar permanentemente el acrílico.

El agua debe ser cambiada una vez a la semana ya que debido a que el agua permanece por largos periodos quieta, esta tiende a tornarse amarilla y a ensuciarse con el polvo.

Para la limpieza del modelo se recomienda el uso de minerales. Es decir alcohol, thinner o gasolina. Esto garantiza que el acrílico se encuentre siempre limpio.

2.6.2. Material seleccionado para la construcción del modelo

El modelo del vertedero a vórtice ha sido construido en varios materiales. Todas las conexiones de agua están construidas en pvc hidro 3. Esto es fundamental para poder impedir fugas.



Figura 2: Canal de conducción y tanque de reserva de la bomba

Los canales de entrada y de salida son de acrílico transparente de 6mm con soportes de acero para que tengan un soporte rígido y no tengan movimientos inesperados.



Figura 3: Canal de Entrada, tubo vertical y tanque de llegada

El vertedero a vórtice ha sido construido de igual manera en acrílico transparente de 6mm.



Figura 4: Vertedero a vórtice

La cámara de disipación al pie tal como los tanques para la bomba y para alimentar el canal de entrada son plásticos.

La mesa está construida con perfiles cuadrados de acero y con madera post-formada.

Todas las instalaciones de agua han sido selladas con teflón alemán y el acrílico ha sido sellado con silicón.

2.6.3. Generalidades sobre la infraestructura

El modelo cuenta con una botonera para poder encender y apagar la bomba. Esto es necesario ya que como la bomba es de 1/2hp debemos evitar que fatigue.



Figura 5: Bomba

Cuenta con un regulador la entrada del tanque superior, este regulador nos permite controlar el caudal recibido por la bomba de tal manera que el tanque permanezca siempre con una misma cantidad de agua y lograr así la condición de caudal constante.



Figura 6: Regulador de nivel para el tanque de carga

Dentro de la cámara de entrada, el modelo cuenta con una compuerta para controlar caudales. Es decir que podemos probar el vertedero tanto a caudales mínimos como a caudales máximos.



Figura 7: Cámara de entrada y compuerta de regulación de caudales

2.6.4. Dimensiones básicas

El modelo consta de tres niveles, el nivel inferior está ubicado a 20cm medidos desde el piso y tiene una dimensión de 78cm por 60cm, ahí se encuentra la bomba de recirculación del agua y su respectivo tanque de abastecimiento, las dimensiones de este tanque son 47cm de largo por 34cm de ancho por 31cm de alto y tiene una capacidad de 49lt. El nivel intermedio está ubicado a 80cm desde el piso y tiene una dimensión de 196cm por 60cm, ahí se encuentran el canal de salida cuyas dimensiones son de 60cm de largo por 6cm de ancho por 15cm de alto y la cámara de disipación que es un tanque de 37cm de largo por 29cm de ancho por 25cm de alto y cuya capacidad es de 26lt. El nivel superior está ubicado a 140cm desde el piso y tiene una dimensión de 133cm por 60cm, ahí se encuentran el tanque de carga que es de 37cm de largo por 29cm de ancho por 25cm de alto, la cámara de entrada que es de 40cm de largo por 6cm de ancho por 15cm de alto, el vertedero a vórtice que es el modelo en sí y el pozo vertical que tiene una longitud de 40cm y un diámetro de 6.8cm.



Figura 8: Render, vista lateral derecha



Figura 9: Render, vista lateral izquierda



Figura 10: Render, vista frontal

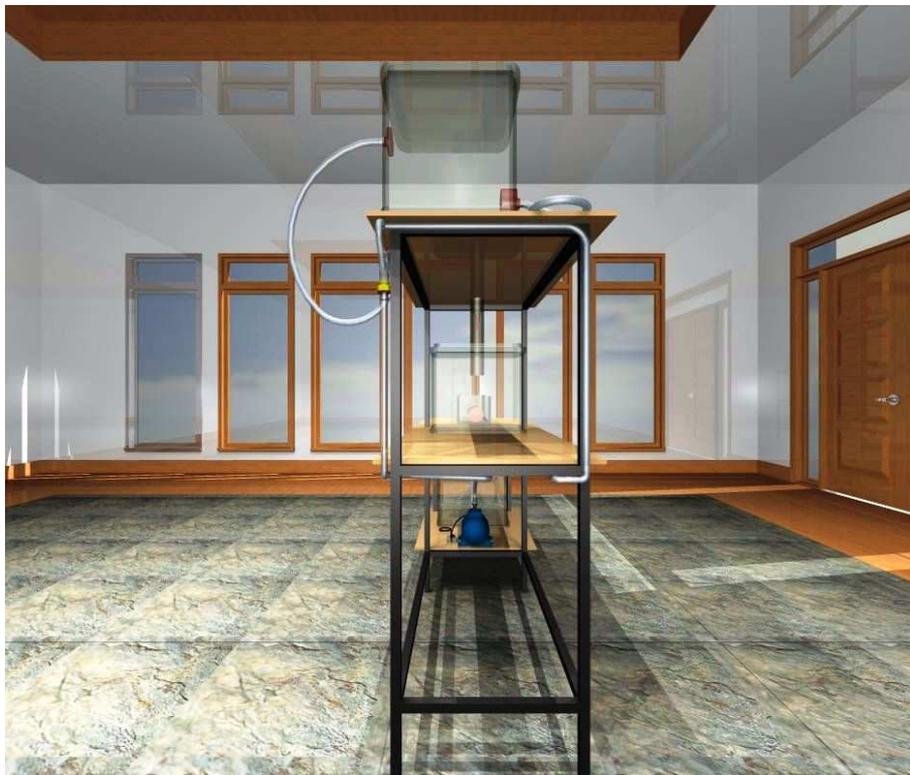


Figura 11: Render, vista posterior

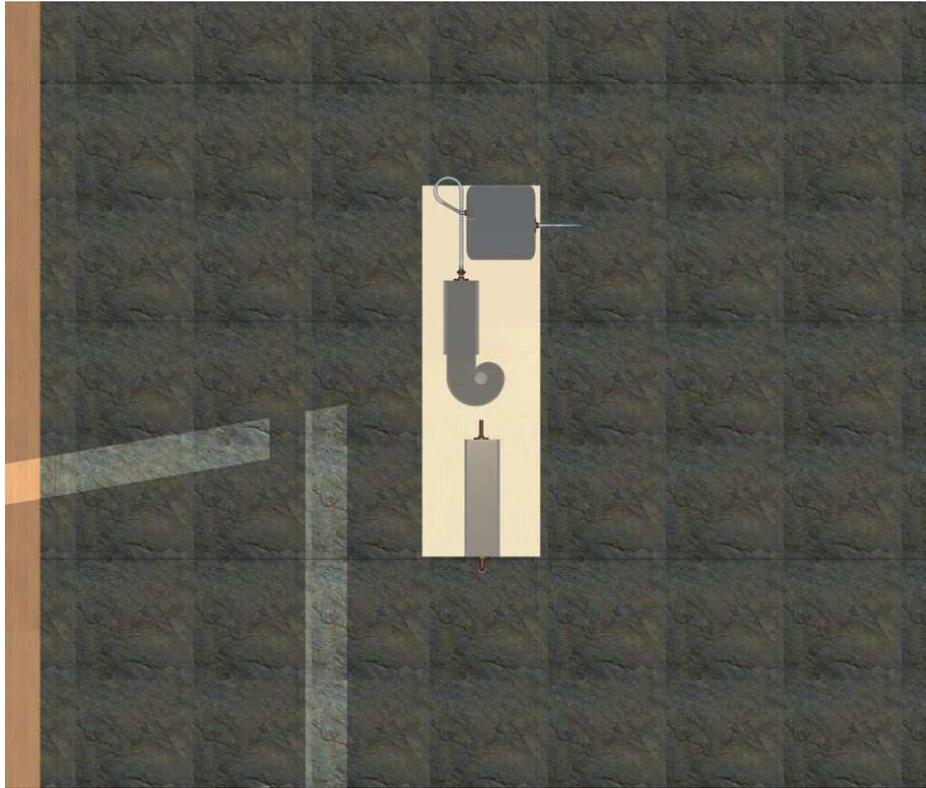


Figura 12: Render, vista en planta

2.7. CONTROL DE CALIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DEL MODELO.

En la primera prueba hidráulica del vertedero a vórtice se encontraron diversas fugas por los canales de acrílico y hacia la mesa. Dichas fugas fueron solventadas mediante el uso de silicón.

En la siguiente prueba se encontró la necesidad de instalar un regulador de caudales con el fin de lograr mantener un caudal constante de ingreso al reservorio de agua superior. Este regulador es imprescindible ya que nos permite mantener una altura de agua constante y además alimentar el tanque de reserva para la bomba con el fin de que la bomba siempre este absorbiendo únicamente agua.

En la tercera prueba encontré necesario la implementación de una compuerta en el canal superior, esta compuerta nos permite observar cómo funciona el vertedero a vórtice en caudales mínimos y su funcionamiento con caudales máximos.

Después de correr varias veces el modelo encontré que para obtener el caudal máximo en la cámara de entrada era necesario llenar con un recipiente adicional. Es por esto que opté más bien por añadir una llave de

paso adicional. Esto permite obtener el caudal máximo cuando se lo requiera u obtener cualquier caudal necesitado más rápido.



Figura 13: Llave de paso adicional

CAPITULO III

3.1. GENERALIDADES DE LAS ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL O COMBINADO.

Las estructuras de disipación de energía en sistemas de alcantarillado son de vital importancia especialmente cuando se desea vencer grandes diferencias de nivel en distancias muy cortas. Existen varios tipos de estructuras de disipación entre las cuales tenemos:

- Pozos con caída libre
- Canal de pendiente fuerte con lecho disipador
- Vertedero a Vórtice

En la siguiente figura observamos la trayectoria de cada una de las alternativas propuestas anteriormente. Cada una de estas tiene sus ventajas y desventajas que serán analizadas posteriormente y que son de importancia para poder seleccionar la mejor alternativa.

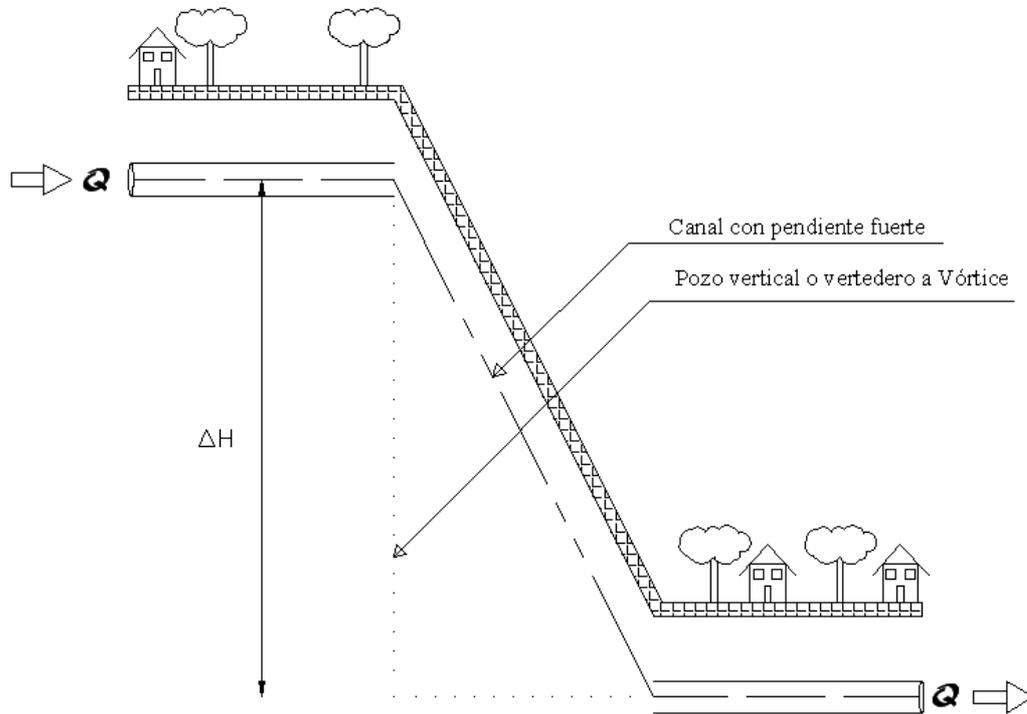


Figura 14: Cambios bruscos de nivel

3.1.1. Pozo con caída libre

Puede ser de sección rectangular o circular, se caracteriza por un choque del agua en su parte superior contra un bloque diseñado para este propósito o contra la pared del pozo en sí, el agua luego del choque es guiada por conducto vertical e impacta con una masa de agua en la parte inferior, esta masa de agua se denomina colchón de aguas y es el lugar donde se disipa la energía para entregar un flujo estable en el colector inferior. La ventaja de este

tipo de dissipador es su fácil construcción pero su desventaja es el control del flujo tanto en el conducto vertical como en el colector inferior además de la cantidad de ruido y abrasión que esta estructura genera.

3.1.2. Canal de pendiente fuerte con lecho dissipador

Este tipo de dissipador de energía requiere de una construcción con materiales de alta resistencia a la abrasión. Debido a los grandes avances de la ingeniería, esto es algo muy sencillo de conseguir hoy en día. La aplicación de este tipo de dissipadores es muy frecuente debido al alto conocimiento que se tiene sobre esta estructura y sobre la interacción agua-aire que hacen posible el control y la regulación.

3.1.3. Vertedero a Vórtice

Este tipo de dissipadores de energía no son muy comunes en el Ecuador ya que hasta finales de los años ochenta no se conocía mucho sobre su funcionamiento y construcción sin embargo se han hecho muchos estudios internacionalmente sobre su funcionamiento. El vertedero a vórtice se caracteriza por tener un canal de aproximación para conducir las aguas recolectadas hacia la cámara de entrada que se encarga posteriormente de transportar el flujo hasta el tubo vertical. Esta sección de la estructura es la más

importante ya que por su forma, hace que el agua viaje con una trayectoria helicoidal. Luego el flujo continúa por una cámara de disipación que se ubica abajo del tubo vertical, este se encarga de enviar un flujo, cuya energía ya fue disipada, al colector de salida.

3.2. OBJETIVOS DE LA DISPOSICIÓN DEL VERTEDERO A VORTICE

Una de las características de los sistemas de alcantarillado en zonas con una topografía irregular es la presencia de cambios de nivel asociados con cambios de dirección, en regímenes de velocidades altas y dimensiones geométricas relativamente importantes. Inclusive para el caso de flujos de aproximación en régimen subcrítico, la dificultad de encontrar una solución técnica es relevante por la poca disponibilidad de espacio para el desarrollo de estructuras comunes de salto con perfiles hidrodinámicos o con disipadores normales de energía al pie.

El problema que se presenta para obtener una solución técnica adecuada, en particular para zonas urbanas y que permita salvar un desnivel grande con un cambio de dirección al pie, está asociado con los requerimientos de:

- Evitar la presencia de remansos o embalsamientos de agua
- Eliminar las perturbaciones de nivel o de la superficie libre
- Disminuir la acumulación de sólidos o azolve
- Eliminar la obturación por elementos disipadores
- Eliminar la abrasión

- Eliminar ruido durante su operación
- Permitir la circulación de aire
- Eliminar la presencia de flujo inestable hacia aguas debajo de la conducción
- Evitar las sobrecargas de profundidad de agua extraordinarias

Para conducir las aguas de un sistema de alcantarillado en forma controlada a un nivel inferior y en una dirección diferente a la del canal de aproximación, se presenta entonces como alternativa apropiada la disposición de un vertedero a vórtice.

Esta estructura hidráulica se caracteriza porque induce un movimiento helicoidal en el ingreso a un pozo vertical de caída y este movimiento helicoidal se mantiene pegado a lo largo de toda la pared interior del tubo vertical, provocando durante el descenso de la lámina una disipación de energía debido a la fricción y a la doble curvatura de las líneas de corriente. Debido a la presencia garantizada de un núcleo de aire, el flujo de caída helicoidal es estable y se entrega en una cámara al pie, en donde se procura disipar la energía residual.

Entre las ventajas hidrodinámicas asignadas a esta estructura, al cabo de varias decenas de años de estudios en modelos y en prototipos, se señalan como las más importantes:

- Posibilidad de descargar caudales del orden de 100 m³/s y en desniveles de hasta los 100m
- Garantía de flujo estable en el movimiento helicoidal
- Ausencia de presiones negativas en el interior del tubo vertical
- Ausencia de ruido en el movimiento de caída
- Aireación adecuada de la lámina en el núcleo
- Disminución y/o eliminación de olores desagradables
- Mínimo de energía remanente al pie
- Garantía de flujo controlado y regulado en la salida del desnivel
- Posibilidad de control eficiente en las crecidas

Como se indica en la siguiente figura, el vertedero a vórtice consta de las siguientes estructuras componentes:

- Canal de entrada
- Cámara espiral
- Tubo vertical
- Cámara de disipación
- Canal de entrega

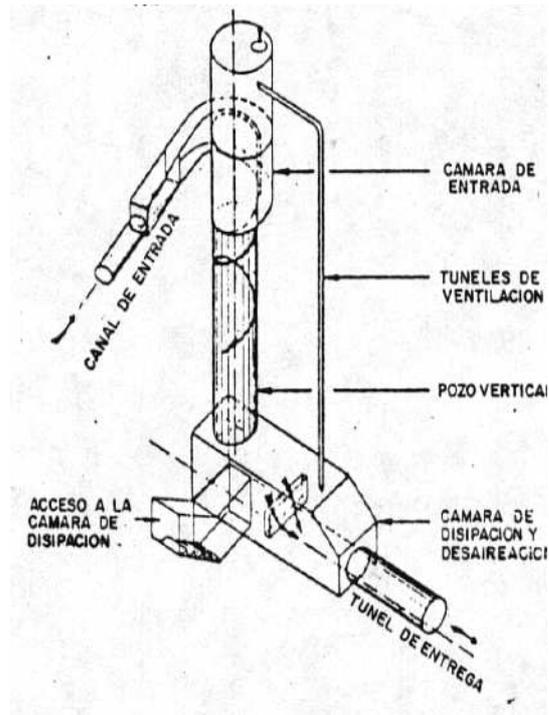


Figura 15: Elementos de un vertedero a vórtice

La disposición de un vertedero a vórtice en los sistemas de alcantarillado ha sido analizada desde el punto de vista de su versatilidad para servir como estructura de unión de dos o más colectores. En la siguiente figura se muestra un esquema de esta posibilidad como solución técnica y económica a uno de los problemas más graves en el desarrollo de redes de colectores.

A continuación se hará una breve descripción de los requerimientos hidráulicos de cada uno de los componentes para lograr los criterios de su dimensionamiento básico. Si bien su uso es amplio y de la relativa facilidad, la disposición incorrecta por ejemplo, de la cámara espiral de inicio del tubo vertical o el dimensionamiento inapropiado del diámetro de este tubo, podría originar una grave deficiencia en su operación.

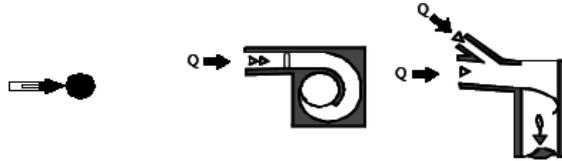
Tipo 1: Unión tangencial de dos colectores al mismo nivel



Tipo 2: Unión de dos colectores paralelos a diferente altura



Tipo 3: Unión de dos colectores desde diferente nivel



Tipo 4: Unión de dos colectores con direcciones opuestas



Figura 16: Tipos de unión de colectores

3.3. DEFINICIONES Y CARACTERISTICAS DE TIPOS DE VERTEDEROS A VORTICE

Existen en principio, dos tipos de configuraciones de los vertederos a vórtice, en función del tipo de régimen en el canal de aproximación, es decir para flujos subcríticos y supercríticos. Inicialmente se diferenciaban los tipos de vertederos a vórtice según la forma en planta de la cámara de entrada, es decir circular, caracol, espiral, tangencial y por sifón.

En el caso del diseño de los vertederos a vórtice para sistemas de alcantarillado, es de particular interés el chequeo de la eficiencia de la estructura para toda la serie de caudales de operación. En este sentido, es de importancia el análisis del funcionamiento de la obra para caudales pequeños, de tal modo que el flujo helicoidal se origine y se mantenga, así como que la estructura sea eficiente respecto de la disipación de energía. Aspectos relacionados con la suficiente ventilación para los caudales máximos, con el mantenimiento del núcleo de aire estable y con la expulsión del aire introducido a lo largo del movimiento helicoidal tienen segunda prioridad en el diseño hidráulico.

3.3.1. Canal o colector de entrada

El tipo de flujo que se garantiza en este canal determina las características y la eficiencia de la estructura del vertedero a vórtice.

El flujo es subcrítico o lento si el número de Fr es menor a 1 en el canal, en caso contrario, cuando el Fr es mayor a 1, se presenta el flujo supercrítico o torrencial.

Si bien se puede dimensionar la estructura para condiciones de flujo a presión en el canal de entrada, es recomendable garantizar flujo a superficie libre para todos los caudales de la serie en los sistemas de alcantarillado. De igual modo, es recomendable que el colector de entrada tenga una sección rectangular para permitir la transición adecuada al flujo helicoidal. En ciertos casos, el ancho del canal debe ser variable, menor en la sección final antes de la cámara de entrada para generar una aceleración que permita una buena condición de inicio en el movimiento helicoidal y de igual modo, que la lámina de agua para caudales pequeños se mantenga junto a la pared interior del tubo vertical.

En el caso del flujo subcrítico en el canal de entrada, se recomienda que $Fr < 0,75$, por razones de estabilidad. Las características hidrodinámicas en el canal de llegada serán controladas por la descarga del tubo vertical, desde aguas abajo. Se debe chequear que la incidencia de la geometría del vertedero a vórtice afecte en el menor grado el flujo de aproximación.

Si se trata de una canal de entrada con flujo supercrítico, se recomienda que $Fr \geq 1,3$. Es importante analizar en este caso que las velocidades altas de circulación en el canal de entrada originan sobre elevaciones importantes de la superficie libre de agua en el cambio de dirección al inicio del flujo helicoidal, y permiten la mezcla intensa de aire en la masa de agua. El diseño geométrico de la zona de transición hacia la cámara de entrada es importante, cualquier perturbación será transportada hacia aguas abajo con la consecuente afectación a la calidad del flujo de caída.

3.3.2. Cámara de entrada

En el caso del flujo subcrítico de aproximación, la geometría de la cámara está dada común y básicamente por una configuración de caracol. La siguiente figura muestra el esquema en planta y en corte, con las definiciones de las variables geométricas. La magnitud de la base es el diámetro D_s del tubo vertical.

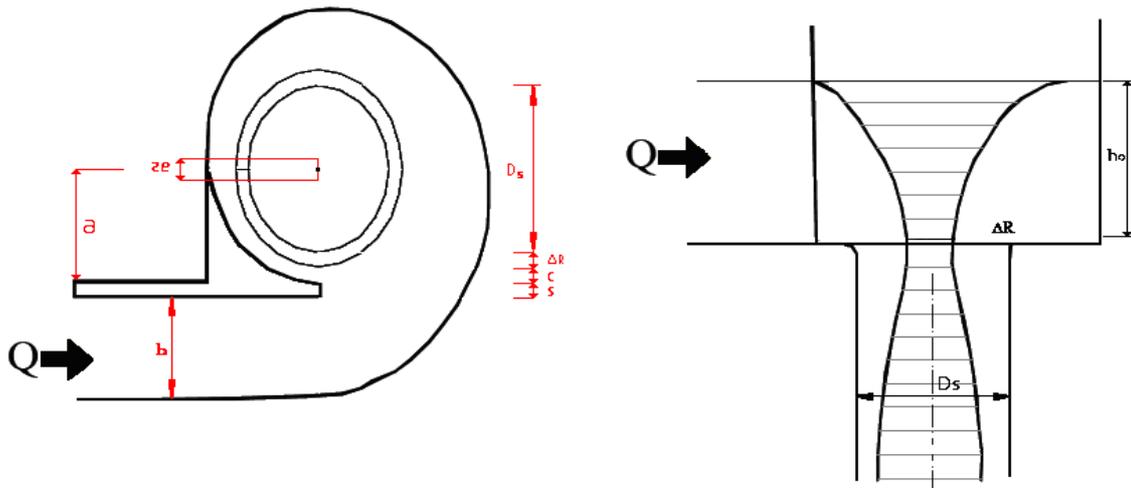


Figura 17: Estructura helicoidal del vertedero a vórtice

Donde,

Q_m = Caudal del modelo

b = Ancho del colector de entrada

D_s = Diámetro del pozo vertical

$\Delta R, s, c$ = Dimensiones estructurales

$$(1.0) \quad a = 0.5D_s + \Delta R + c + s + 0.5b$$

$$(2.0) \quad e = (b+s)/7$$

$$(3.0) \quad R_4 = 0.5D_s + \Delta R + c + e$$

$$(4.0) \quad R_3 = R_4 + e$$

$$(5.0) \quad R_2 = R_4 + 3e$$

$$(6.0) \quad R_1 = R_4 + 5e$$

Esto debe satisfacer que:

$$1 \leq a / D_s \leq 1.25$$

3.3.3. Tubo vertical o pozo

El diámetro del tubo vertical se calcula mediante la relación empírica

$$D_s = h \cdot (Q_d^2 / g)^{1/5}$$

En donde el factor h depende de la geometría de la cámara de entrada varía entre 0,83 y 2. En el caso de los modelos ensayados previamente, se determina que el valor de $h = 1,25$ es recomendable para los dos tipos de aproximación. El valor de Q_d representa el caudal de diseño, para el cual queda determinada toda la geometría de la estructura.

Adicionalmente es interesante conocer el valor del caudal máximo (Q_{max}) que puede ser admitido por el tubo vertical, sin que se produzca una grave reducción en el núcleo de aire y se mantenga la presión atmosférica en la superficie libre del flujo helicoidal.

Para el caso del flujo de aproximación subcrítico:

$$Q_{\max} = 4 \cdot (D_s/2)^3 \cdot (5g/b)^{1/2}$$

Para la serie de caudales inferiores a este valor Q_{\max} es posible determinar la curva de descarga con respecto a la profundidad de flujo en el canal de entrada mediante una relación funcional de la forma:

$$Q/Q_0 = (\pi \cdot (2h)^{1/2}) / (1/\mu^2 - (\pi D_s/2ah)^2)^{1/2}$$

Siendo μ el coeficiente de contracción característico del tipo de cámara de entrada y con el valor de:

$$\mu = 0.95 - (1/\mu^2 - (1 - 2y/9\pi)^{2/3})^2$$

donde $y = h/h_0$

$$h_0 = aD_s/2b$$

$$Q_0 = (ga \cdot D_s^5/32b)^{1/2}$$

Para el caso del flujo de aproximación supercítico:

Debe considerarse que el control desde la entrada al tubo vertical desaparece y que las condiciones hidrodinámicas dependen

exclusivamente del radio de curvatura de las paredes de la cámara espiral. Aparece una onda permanente en la pared interior, ubicada en la sección a_M , que produce una elevación de la superficie libre igual a h_M , como se esquematiza a continuación.

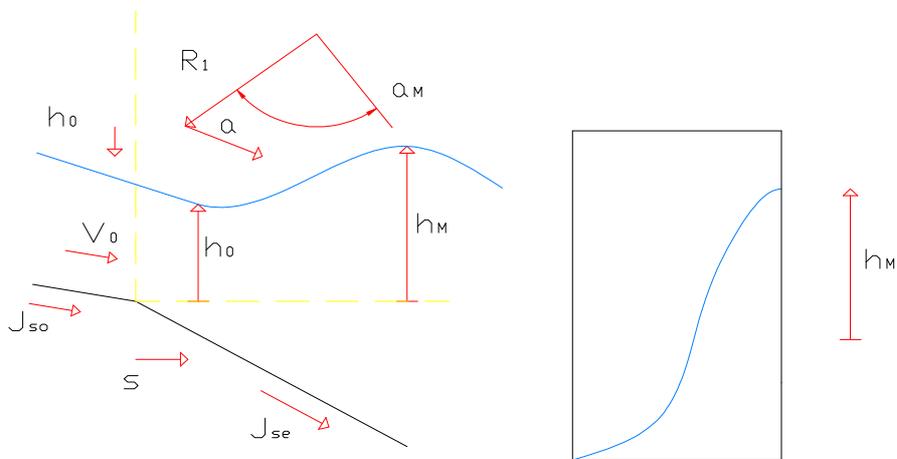


Figura 18: Perfil longitudinal y sección transversal para flujo supercrítico

El valor de la sobre elevación h_M se evalúa con la relación experimental:

$$h_M/R_1 = (0.15Fr_0 + 1.1) * ((Fr_0 * 2bh_0^2 / R_1^3) - J_{so}/2)$$

y la ubicación de la sobre elevación se determina por:

$$a_M / Fr_0 = 75 * (h_0 / R_1)^{1/2}$$

La altura de la pared requerida para la cámara de entrada espiral queda determinada entonces por estas relaciones empíricas, comprobadas satisfactoriamente con los ensayos en los modelos.

3.3.4. Cámara de disipación al pie

Los principales objetivos que deben ser satisfechos por esta cámara al pie del tubo vertical, considerando que el vertedero a vórtice está en una red de alcantarillado, son los siguientes:

- Garantizar la estabilidad del flujo helicoidal de caída proporcionando la ventilación suficiente del núcleo de aire en el tubo vertical
- Disipar la energía residual al pie del tubo vertical
- Permitir que el flujo de ingreso al colector de entrega sea homogéneo y estable
- Permitir el cambio de dirección entre los colectores de llegada y de salida del vertedero a vórtice
- Ofrecer la posibilidad de inspección de la estructura de cambio de nivel

Entre otros aspectos muy importantes. La geometría básica de la cámara es:

$$S_t / D_s \approx 4$$

$$B_t / D_s \approx 2$$

$$T_t / D_s \approx 2$$

Si bien estas longitudes parecen excesivas, se demostró que son necesarias para garantizar la estabilidad del flujo aguas abajo.

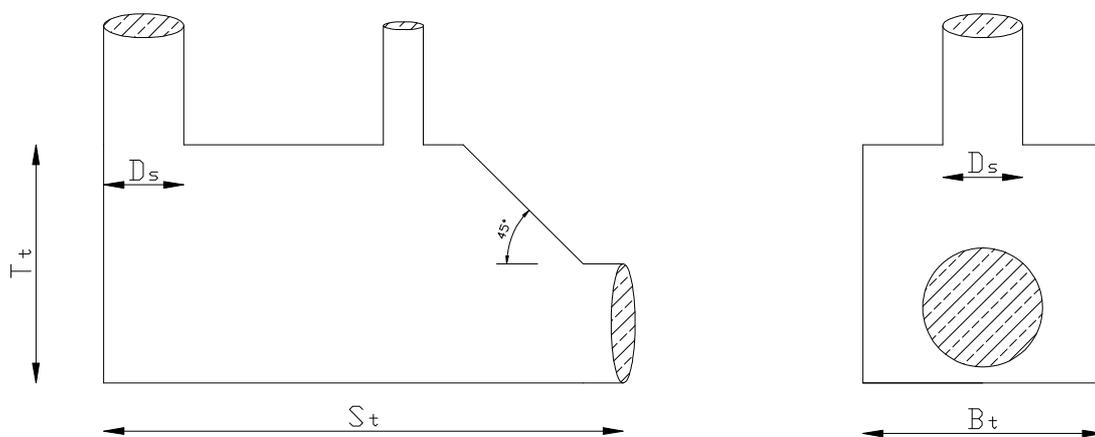


Figura 19: Cámara de disipación al pie

En el interior de la cámara se deben disponer obstáculos como los señalados en la siguiente figura para conseguir una adecuada disipación de energía y las condiciones para el flujo estable y homogéneo aguas abajo.

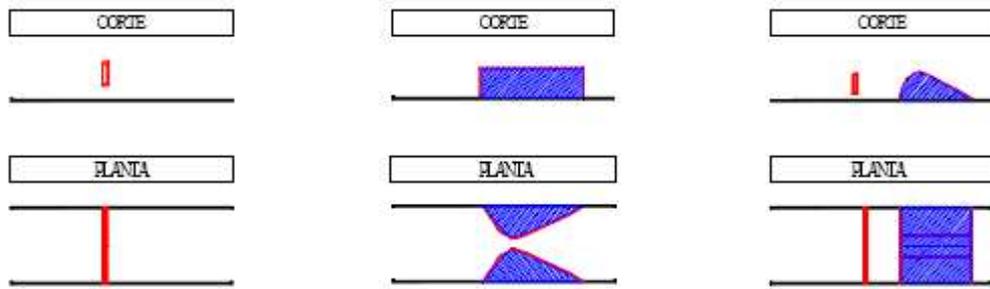


Figura 20: Variantes para mejorar la disipación de energía

Es importante señalar la inclinación de 45° en la pared de aguas debajo de la cámara, lo que permite la exclusión del aire antes de su ingreso al canal de entrega y su adecuada expulsión a través del tubo de aireación, en el caso de que sea necesario. Normalmente en los sistemas de alcantarillado, no se requiere la expulsión total del aire de la mezcla.

3.3.5. Colector de entrega

Aún cuando cerca del 90% de la energía es disipada en el vertedero a vórtice por los cambios de nivel y de dirección del flujo principal, existe el requerimiento para que el flujo a lo largo del colector de entrega aguas abajo mantenga un caudal no pulsatorio de una mezcla homogénea de agua y de aire. Este requerimiento es mayor,

si es que el canal de entrega continúa en régimen supercítico, dado que toda perturbación en la sección inicial del colector se transporta aguas abajo.

La transición entre la cámara de disipación y el colector debe ser en todo caso abocinada y debe disponer de la ventilación suficiente para garantizar que la separación del flujo sea definida y permanezca estable en una sola superficie. En ciertos casos, se ha dispuesto de un estrechamiento artificial en la sección final de la cámara, para permitir que el flujo sea controlado en esta sección fija.

El colector de salida puede tener cualquier forma de sección transversal; sin embargo debe ponerse especial cuidado en la configuración de transición entre la pared de aguas debajo de la cámara y el colector del vertedero a vórtice.

CAPITULO IV

4.1. SISTEMA DE MEDICION Y TOMA DE DATOS

En todo el modelo existen diversas regletas con el fin de poder obtener las mediciones de las alturas de agua. Todas las regletas están en centímetros y milímetros por lo que nuestro grado de exactitud es milimétrico.

Necesitamos también para los diversos experimentos medir caudales. Para esto disponemos de un recipiente de 1 litro y de un cronómetro. De esta manera colocamos el recipiente debajo del tubo vertical, tomamos el tiempo (en segundos), desde que cae la primera gota hasta que el recipiente llegue a una medida conocida cualquiera. Realizamos la división y obtenemos nuestro caudal en [lt / s].

Con el fin de medir la carga de velocidad en vertedero a vórtice, disponemos de tubos Pitot, estos son instalados de manera manual en cualquier punto en el que se desee saber la carga de velocidad. Se toma la lectura en centímetros.

4.2. PLAN DE PRUEBAS

Se realizarán un total de 4 ensayos de laboratorio distintos con el modelo del vertedero a vórtice. Los distintos experimentos tienen como finalidad la comprobación de que el flujo helicoidal en el tubo vertical no se desprenda sin importar las diversas condiciones hidráulicas.

Los datos a tomarse para cada uno de los experimentos son los siguientes:

- Volumen en recipiente para medir caudales [lt]
- Tiempo de llenado del volumen en recipiente para medir caudales [s]
- Carga de velocidad en el canal de entrada [cm]
- Carga de velocidad al entrar al vertedero a vórtice [cm]
- Carga de velocidad al salir del vertedero a vórtice [cm]
- Altura de sobre elevación en el canal de entrada (h_1) [cm]
- Altura de sobre elevación al entrar al vertedero a vórtice (h_2) [cm]
- Altura de sobre elevación al salir del vertedero a vórtice (h_3) [cm]
- Ubicación del desprendimiento de la lámina descendente dentro del tubo vertical (en caso de existir).

Todos estos datos deben ser debidamente registrados en el formato para prácticas de Laboratorio que se encuentra en el Anexo 8.1.1.

4.3 DESCRIPCION DE LOS DIFERENTES ENSAYOS DE LABORATORIO

4.3.1. Ensayo de laboratorio #1:

El primer ensayo de laboratorio se lo realiza con flujo libre. Esto implica que debemos sacar la compuerta de regulación de caudales del canal de entrada.

El primer paso es llenar el tanque de reserva de la bomba hasta el máximo con agua. Después procedemos a encender la bomba para llevar el agua hasta el tanque de carga.

Procedemos a abrir la llave de paso inferior del tanque de carga para poder realizar las calibraciones respectivas.

Una vez que el tanque de carga se encuentre a un 90% de su capacidad máxima, debemos utilizar el regulador de nivel para lograr la condición de que la cantidad de agua en el tanque de carga sea constante. Para esto debemos mover la perilla de la izquierda para enviar parte del flujo de vuelta al tanque de reserva de la bomba y mover también la perilla derecha para limitar la cantidad de agua que entra al tanque de carga.

Al obtener la condición de altura de agua constante en el tanque de carga se procede a realizar la medición del volumen del recipiente para medir caudales y su respectivo tiempo de llenado.

Procedemos a observar el flujo de agua descendente por el tubo vertical y verificamos si existen desprendimientos y si el flujo sigue el movimiento helicoidal.

Procedemos a realizar las mediciones de carga de velocidad por medio del tubo Pitot y de altura de sobre elevación en los tres puntos propuestos (h_1 , h_2 , h_3).

4.3.2. Ensayo de laboratorio #2:

El segundo ensayo de laboratorio se lo realiza con flujo mínimo. Esto implica que la compuerta de regulación de caudales del canal de entrada esta cerrada dejando el paso de un caudal mínimo de agua.

De la misma manera, el primer paso es llenar el tanque de reserva de la bomba hasta el máximo con agua. Después procedemos a encender la bomba para llevar el agua hasta el tanque de carga.

Procedemos a abrir la llave de paso inferior del tanque de carga para poder realizar las calibraciones respectivas.

Una vez que el tanque de carga se encuentre a un 90% de su capacidad máxima, debemos utilizar el regulador de nivel para lograr la condición de que la cantidad de agua en el tanque de carga sea constante. Para esto debemos mover la perilla de la izquierda para enviar parte del flujo de vuelta al tanque de reserva de la bomba y mover también la perilla derecha para limitar la cantidad de agua que entra al tanque de carga.

Al obtener la condición de altura de agua constante en el tanque de carga se procede colocar la compuerta de regulación de caudales totalmente cerrada.

Después se procede a realizar la medición del volumen del recipiente para medir caudales y su respectivo tiempo de llenado.

Procedemos a observar el flujo de agua descendente por el tubo vertical y verificamos si existen desprendimientos y si el flujo sigue el movimiento helicoidal.

Procedemos a realizar las mediciones de carga de velocidad por medio del tubo Pitot y de altura de sobre elevación en los tres puntos propuestos (h_1 , h_2 , h_3).

4.3.3. Ensayo de laboratorio #3:

El tercer ensayo de laboratorio se lo realiza con flujo promedio. Esto implica que la compuerta de regulación de caudales del canal de entrada esta abierta una cantidad "x" dejando el paso de un caudal promedio de agua.

De la misma manera, el primer paso es llenar el tanque de reserva de la bomba hasta el máximo con agua. Después procedemos a encender la bomba para llevar el agua hasta el tanque de carga.

Procedemos a abrir la llave de paso inferior del tanque de carga para poder realizar las calibraciones respectivas.

Una vez que el tanque de carga se encuentre a un 90% de su capacidad máxima, debemos utilizar el regulador de nivel para lograr la condición de que la cantidad de agua en el tanque de carga sea constante. Para esto debemos mover la perilla de la izquierda para enviar parte del flujo de vuelta al tanque de reserva de la bomba y mover también la perilla derecha para limitar la cantidad de agua que entra al tanque de carga.

Al obtener la condición de altura de agua constante en el tanque de carga se procede colocar la compuerta de regulación de caudales a una abertura "x" escogida por el laboratorista.

Después de procede a realizar la medición del volumen del recipiente para medir caudales y su respectivo tiempo de llenado.

Procedemos a observar el flujo de agua descendente por el tubo vertical y verificamos si existen desprendimientos y si el flujo sigue el movimiento helicoidal.

Procedemos a realizar las mediciones de carga de velocidad por medio del tubo Pitot y de altura de sobre elevación en los tres puntos propuestos (h_1 , h_2 , h_3).

4.3.4. Ensayo de laboratorio #4:

El cuarto ensayo de laboratorio se lo realiza con flujo máximo. Esto implica que la compuerta de regulación de caudales del canal de entrada está cerrada hasta que la cámara de entrada se llene completamente. Luego dicha compuerta se abre abruptamente.

De la misma manera, el primer paso es llenar el tanque de reserva de la bomba hasta el máximo con agua. Después procedemos a encender la bomba para llevar el agua hasta el tanque de carga.

Procedemos a abrir las dos llaves de paso del tanque de carga para poder realizar las calibraciones respectivas y a su vez poder obtener nivel máximo de agua en el canal de entrada.

Una vez que el tanque de carga se encuentre a un 90% de su capacidad máxima, debemos utilizar el regulador de nivel para lograr

la condición de que la cantidad de agua en el tanque de carga sea constante. Para esto debemos mover la perilla de la izquierda para enviar parte del flujo de vuelta al tanque de reserva de la bomba y mover también la perilla derecha para limitar la cantidad de agua que entra al tanque de carga.

Al obtener la condición de altura de agua constante en el tanque de carga se procede a colocar la compuerta de regulación de caudales totalmente cerrada hasta que el canal de entrada este hasta su nivel máximo. Se procede a abrir la compuerta para dejar salir toda el agua.

Inmediatamente se procede a realizar la medición del volumen del recipiente para medir caudales y su respectivo tiempo de llenado.

Procedemos a observar el flujo de agua descendente por el tubo vertical y verificamos si existen desprendimientos y si el flujo sigue el movimiento helicoidal.

Procedemos a realizar las mediciones de carga de velocidad por medio del tubo Pitot y de altura de sobre elevación en los tres puntos propuestos (h_1 , h_2 , h_3).

CAPITULO V

5.1. ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez que el modelo del vertedero a vórtice fue armado y todas sus fugas fueron mitigadas, se procedió a realizar los ensayos planteados en el capítulo anterior. Los resultados se encuentran en el Anexo (8.1.2 - 8.1.5), el análisis de dichos resultados los veremos a continuación.

5.1.1. Tanque de carga y Cámara de entrada

En el tanque de carga, resulta bastante sencillo conseguir la condición de caudal constante, es nada más una sincronía entre las 2 llaves de salida y las 2 llaves de paso del regulador de nivel para el tanque de carga.

En la cámara de entrada se observa un flujo estable sin turbulencias. De la misma manera, se observa una sobre elevación al ingresar al vertedero a vórtice. Dicha sobre elevación se da debido a la fuerza centrífuga, dicha fuerza es característica en el movimiento helicoidal

5.1.2. Tubo vertical

Para todas las condiciones citadas anteriormente, es decir flujo libre, flujo mínimo, flujo promedio y flujo máximo se observa la inexistencia de un desprendimiento de la lámina de agua descendente. Esto se debe a la carencia de presiones negativas. Lo que implica que tenemos un flujo helicoidal estable a lo largo del tubo vertical. Existe disipación de energía debido a la fricción y circulación de aire a lo largo del eje del tubo.

5.1.3. Cámara de disipación al pie

En la cámara de disipación al pie observamos un choque, de la lámina de agua descendente, no violento. Esto confirma la disipación de energía por medio de la fricción. En la vida real, la cámara de disipación al pie puede contener estructuras de hormigón destinadas a garantizar un flujo controlado e inofensivo para el canal de conducción, (Figura 20).

CAPITULO VI

6.1. CONCLUSIONES

El dimensionamiento hidráulico del modelo a escala reducida de un vertedero a vórtice es satisfactorio.

Se construye e implementa el modelo hidráulico del vertedero a vórtice para el laboratorio de la Universidad San Francisco de Quito. Dicho modelo constituye una herramienta fundamental de aprendizaje para los estudiantes de Ingeniería Civil.

En cuanto a los ensayos hidráulicos, se observa un aumento en las sobre elevaciones mientras el fluido se acerca más al vórtice, esto se debe a la fuerza centrífuga a la cual se ve expuesto el fluido, dicha fuerza es característica en el movimiento helicoidal, esto comprueba el correcto funcionamiento del modelo.

De la misma manera se observa una disminución en las cargas de velocidad, esto se debe a las sobre elevaciones puesto que, en este tipo de movimientos, las cargas de velocidad son inversamente proporcionales a las sobre elevaciones, este supuesto es cierto siempre y cuando el caudal permanezca constante. Esta variable es fácilmente controlada gracias a los dispositivos, de control de caudales y de alturas de agua en el tanque de carga, con los que cuenta este modelo hidráulico.

Cabe recalcar que según la naturaleza de este modelo y debido a las limitaciones del mismo, este modelo tiene fines educativos más no investigativos tal como sucede con la mayoría de modelos hidráulicos. Esto se debe a la imprecisión en las medidas del modelo debido a la limitación de los materiales con los cuales ha sido construido el modelo.

6.2. RECOMENDACIONES

Para la elaboración de las prácticas de laboratorio, se recomienda hacerlo como mínimo en parejas, ya que se debe estar pendiente de los niveles de agua en los tanques para evitar que se rebosen de agua o que la bomba succione aire. Además se deben hacer las distintas mediciones y apertura de las llaves de paso.

El agua debe ser desalojada de los tanques después de cada práctica o al menos una vez a la semana para evitar la putrefacción de la misma. Hacer caso omiso a esta recomendación puede conducir a malos olores o envejecimiento del acrílico en el modelo.

En el anexo se encuentra el formato para la toma de datos de los distintos ensayos, además de ejemplos de los resultados arrojados por el modelo durante las primeras pruebas.

Finalmente se recomienda total atención durante la realización de los distintos ensayos, esto permitirá disminuir el margen de error en la medición y errores de apreciación del observador.

CAPITULO VII

7.1. BIBLIOGRAFIA

- a) Hager, W.H., Kellenberger, M.H.: "Die Dimensionierung des Wirbelfall"
- b) Schachtes. GWF-Wasser-Abwasser,128,Heft 11,1987.
- c) Jain, A.K. et al: "Air Entrainment in Radial Flow Towards Intakes", Journal of the Hydraulic Division, ASCE, Vol.104, No.7, June 1978
- d) Kleinschroth, A.: "Der Abflußvorgang im Wirbelfallscgacgt". Der Bauingenieur, Nr.47,1972
- e) Ackers, P.;Crump, E.S: "The Vortex Drop". Proceedings of Civil Engineering,p.433-442,1960
- f) Bretschneider, H.: "Zur Berechnung von kreisförmigen Fallschächten". Institut für Wasserbau und Wasserwirtsschaft an der RWTH, Aachen.Mitteilung Nr.13,1960.
- g) Hager, W.H.: "Head-Discharge Relation for vortex Shaft", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.111, No.6, June 1985

- h)** Hartl, J.: "Zur Hydromechanik des Drallschachtes". Österreichische Wasserwirtschaft, Jahrgang 35, Heft 9/10, 1983
- i)** Jain, S.C.; Kenndy J.F.: "Vortex-Flow Drop Structures for the Milwaukee Metropolitan Sewerage District Inline Storage System". Iowa Institut of Hydraulic Research, Report No.264, 1983
- j)** Kleinschroth, A., Wirth, H.: "Dimensionnierung von Wirbelfallschachten unter Berücksichtigung verschiedener Zuflußbedingungen". Institut für Hydraulik und Gewässerkunde an der Th München, Mitteilungen Nr. 36, München, 1981

