



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO.**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**OPTIMIZACIÓN EXPERIMENTAL DEL
MÓDULO AQUACONTROL**

T E S I S P R O F E S I O N A L

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

P.I.C. Yonatán Bejarano León.

Asesor:

Ing. Ramiro Guzmán Rodríguez.

Morelia; Mich, Abril 2008

Agradecimientos:

A DIOS.

Por haberme dado la oportunidad de existir y culminar una etapa más de mi vida, pero sobre todo por haberme dado una familia maravillosa.

A MIS PADRES.

Angélica León Alanís y Salvador Bejarano Rojas, a quienes debo la vida y una inigualable familia, y que de alguna manera debo también un sin fin de sacrificios y esfuerzos por su parte, que me llevaron a alcanzar mis metas, quiero que sientan que lo logrado es de ustedes también y que la fuerza que ayudo a conseguirlo fue su gran apoyo y comprensión. Infinitas gracias, son una pareja ejemplar, los mejores padres.

A MIS HERMANAS.

Viridiana y Cinthya, que con su gran cariño, comprensión y apoyo, han logrado formarme la imagen viva de grandes mujeres y las mejores hermanas, con todo su cariño, comprensión y apoyo; este logro es también suyo.

A MI FAMILIA.

A Familia León Alanís, a mi Tía Rita, , a mi Tía Ale, a mi Tía Pache, Tío Migue y a mi Tío Ricardo, quienes en todo momento me mostraron su incondicional apoyo y supieron comprenderme; sobre todo a mis abuelitos Miguel y Ma. De la Paz, por hacer de esta familia algo tan indescriptible, una hermosa familia, a la Familia León Hernández y a la Familia Mena León, por sus consejos y su apoyo incondicional, a todos muchas gracias, a la Familia Bejarano Sujol, Bejarano Esquivel y a mi abuelita Consuelo, gracias.

Al mi Asesor de Tesis por su participación en la elaboración del presente trabajo, por su comprensión y su gran ayuda para lograr alcanzar mi meta.

Al Ing. Jorge Leonel Ángel Hurtado, por su indiscutible y constante colaboración en todo el desarrollo de éste trabajo, gracias por todo el tiempo que me dedicó para culminar mi tesis, quien más que un profesor supo ser un gran amigo, gracias por todo.

Al M.C. Guillermo Benjamín Pérez Morales, que supo fomentar las ganas de trabajar en el área de la Hidráulica, alentándome con sus conocimientos en el área y fomentando los deseos por superarme en esta carrera, un gran profesor y también gran amigo.

Al M.I. Jesús Martín Caballero Ulaje, con quien he convivido constantemente en mi estancia en el laboratorio, apoyándome en diversas ocasiones con sus consejos y por facilitarme material bibliográfico, gracias.

	Página.
I. INTRODUCCIÓN.	1
II. ANTECEDENTES.	3
II.1. Estructuras reguladoras de gasto constante.	3
II.2. Generalidades de los módulos aquacontrol.	5
II.2.1. Aplicaciones y usos.	7
II.2.1.1. Embalses.	7
II.2.1.2. En canales de riego.	8
II.2.2. Principios de operación.	8
II.2.3. Módulo estándar.	10
II.2.4. Arreglos y disposición de los módulos.	12
II.2.5. Ventajas y desventajas.	13
II.3. Alternativas básicas para la instalación en un sistema de riego.	13
II.3.1. Reguladores de gasto tipo vertedor.	13
II.3.2. Reguladores de gasto tipo orificio.	16
III. CONCEPTOS BÁSICOS.	19
III.1. Glosario.	19
III.2. Teorías relativas al estudio.	20
III.2.1. Vertedores.	20
III.2.1.1. Vertedores de pared delgada.	21
III.2.1.2. Vertedores de pared gruesa.	21
III.2.1.3. Vertedores de tipo cimacio.	22
III.2.2. Orificios.	23
III.2.2.1. Orificios de pared delgada.	23
III.2.2.2. Orificios de pared gruesa.	24
III.2.3. Compuertas.	25
IV. PLAN DE DESARROLLO Y APLICACIÓN DE ALGUNOS ANÁLISIS ESTADÍSTICOS, PARA CONDICIONES DESFAVORABLES.	26
IV.1. Plan de pruebas.	26
IV.1.1. Control de pruebas.	28
IV.1.2. Variables a optimizar.	35
IV.2. Aplicación de algunos análisis estadísticos, para condiciones desfavorables.	36
IV.2.1. Investigación.	36
IV.2.2. Formulación de la hipótesis.	36
IV.2.3. Hipótesis estadística.	37
IV.2.4. Análisis estadístico del muestreo.	37
IV.3. Importancia del análisis de variables estadísticas.	38
IV.4. Indicadores de desempeño en la distribución.	39
IV.4.1. Medición.	40
IV.5. Variables estadísticas en estudio.	40
IV.5.1. Mediana.	40
IV.5.2. Media.	42
IV.5.3. Desviación Estándar.	43
IV.5.4. Gasto máximo.	44

	Página.
IV.5.5. Gasto nominal.	44
IV.5.6. Gasto mínimo.	45
IV.5.7. Nivel máximo.	45
IV.5.8. Nivel nominal.	45
IV.5.9. Nivel mínimo.	45
V. INSTALACIÓN EXPERIMENTAL.	46
V.1. Equipo requerido.	47
V.1.1. Canal de Rehbock.	47
V.1.2. Compuerta deslizante.	48
V.1.3. Vertedor de pared delgada.	50
V.2. Calibración.	51
V.2.1. Calibración del módulo de sección comercial.	52
V.2.2. Fabricación de módulo para propuestas de modificación a la sección comercial.	53
V.3. Técnica de visualización de flujo empleada.	54
V.3.1. Visualización de las líneas de corriente.	54
V.4. Muestreo y obtención de datos experimentales.	55
V.4.1. Muestreo y visualización del flujo.	55
V.4.2. Prueba preliminar.	55
V.4.3. Descripción de las gráficas.	56
VI. MEDICIÓN Y PRUEBAS DE CALIBRACIÓN, CON VARIACIÓN EN EL FLUJO Y OTROS FACTORES	60
VI.1. Medición.	60
VI.2. Calibración del equipo para pruebas.	60
VI.3. Visualización.	61
VI.4. Variación del flujo y otros factores.	61
VI.5. Obtención de índices en los ensayos.	62
VI.6. Resultados.	63
VI.6.1. Fenómenos visualizados.	83
VI.6.2. Geometrías más factibles.	85
VI.6.2.1. Influencia de vortices.	90
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	93
Apéndice de figuras.	96
VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.	101

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo el agua ha sido uno de los recursos naturales vitales para la cualquier ser vivo, es por ello que la necesidad de cuidar el líquido se ha vuelto de manera prioritaria la inversión de recursos económicos excesivos para preservarlo, trayendo consigo nuevas alternativas para la dotación equitativa para los aspectos primarios tales como: consumo doméstico, agricultura, generación eléctrica, industria y recreación, siendo, para el caso del desarrollo del estudio, la agricultura uno de los consumos más descuidados en cuanto a la creación de la conciencia de la gente que se dedica a ello, por su inconformidad sobre la dosificación que se les proporciona.

Dado a que la agricultura ha sido, y seguirá siendo, una de las prioridades demandadas por la humanidad para consumo de su productividad, se ha invertido en dispositivo que permita regular la dotación dando soluciones prácticas e ingenieriles para el control y reparto de gasto para sistemas de riego. Para ello, el estudio de la revisión sobre el funcionamiento hidráulico del Módulo Aquacontrol en la tesis presentada por el Ing. Jaime Alberto Rivero Moreno, se concluyó que hay aun una mejor opción para la mejora del dispositivo, en el cual se enfoca el nuevo objetivo de mejorar la sección con fines, tanto académicos como experimentales y en algún momento, ¿por que no?, comerciales.

A gran diferencia de cualquier otro dispositivo actualmente usado para la dotación del recurso en las zonas de riego, es bien sabido ya que el dispositivo no tiene ningún problema al operar de manera independiente a cualquier sistema automatizado de manera mecánica o eléctrica, siendo totalmente autosuficiente al regular el gasto sin que intervenga la operación, siquiera, humana.

El funcionamiento del módulo consiste básicamente en que las variaciones de tirante dentro del canal, no modifiquen el funcionamiento del módulo, entregando siempre la misma cantidad de agua a partir del nivel de control, que será uno de los principales aspectos en el análisis práctico del desarrollo del plan de pruebas, definiendo los niveles de operación donde se considera que el módulo funciona de manera óptima, regulando constantemente el gasto con variaciones irregulares en los niveles dentro del canal.

De manera subsiguiente, se analizarán también las geometrías que arrojen los mejores resultados, tomando en cuenta que la generación de vórtices, dentro del módulo, será un factor interesante para determinar la influencia de la presencia de los mismos en el buen funcionamiento hidráulico.

Como consecuencia de la generación de vórtices, la influencia a la entrada del módulo, debido a la velocidad y ángulo perpendicular al canal, será también una prioridad en el desarrollo del estudio, ya que se pretende analizar si influyen directamente o no, en los niveles de control y eficiencia dentro del módulo.

Ante la necesidad de mejorar las condiciones en las que opera el módulo, se probarán con distintas configuraciones geométricas, en base a la hipótesis, internas y externas, para optimizar el funcionamiento, siendo que la necesidad de mejorar el aspecto tanto práctico como técnico de la elaboración comercial del módulo, será indispensable encontrar una geometría sencilla que permita facilitar su producción en serie.

Una vez encontrada la mejor de las posibles geometrías, se analizarán los resultados obtenidos, para con ellos, encontrar una relación gasto contra niveles de operación que permita representar la eficiencia mediante una expresión matemática que permita, al usuario y a los mismos proveedores, saber de manera aproximada e incluso pudiera ser hasta exacta los gastos en los que opera cada módulo.

El estudio de éste módulo quedará aun sujeto a mejoras, ya que, como es bien sabido en la Ingeniería Civil, la Hidráulica aún es una rama no muy desarrollada como algunas otras, hay mucho más por investigar y experimentar, para con ello hacer del recurso natural Agua una mejor preservación para las futuras generaciones e incluso crear conciencia e incursionar en nuevos modelos que innoven y mejoren todas las condiciones que cualquiera pudiera pasar por alto.

II. ANTECEDENTES

II. 1. Estructuras reguladoras de gasto constante.

La necesidad de optimizar en estructuras reguladoras de gasto constante en tomas granjas para la agricultura, se ha vuelto uno de los principales temas estudio de la hidráulica en el aspecto práctico para darle soluciones sencillas que permitan mantener gastos constantes con diseños hidráulicos únicos, o en sus casos, adaptando nuevos elementos electrónicos a estructuras convencionales que permiten mejorar el desempeño funcional de los mismos que permiten regular de manera inmediata un gasto regulándolo constantemente sin tener excedentes o variaciones en su funcionamiento.

Como ya se ha mencionado, el módulo Aquacontrol, funciona sin ningún tipo de energía ajena a su propia configuración estructural, manteniendo de manera constante en un rango de operación, que se pretende mejorar, el gasto prácticamente constante. Dado a que se requiere la mejoría del óptimo funcionamiento hidráulico del dispositivo obteniendo la mejor sección geométrica posible, el rango de variación en los niveles tanto aguas arriba como aguas debajo de la ubicación del módulo, pretenden no ser un factor que influya en la descarga a través del módulo, teniendo como un rango de efectividad del más menos 10% del gasto óptimo de operación en el módulo.

Los reguladores pasivos, como es el caso de éste dispositivo, son estáticos, característica que los permite ser económicos en varios aspectos, así como también los beneficios de un control perfectamente regulado de manera automática, sobre las expectativas de cualquier otro sistema dinámico, prevaleciendo como la mejor opción en su categoría.

Las principales limitantes que tiene el dispositivo son de singular particularidad, siendo que se pueden mejorar para integrar una combinación de varios aspectos tanto geométricos como de factores que influyan en el óptimo desempeño del módulo, tales son:

* La geometría debe combinar que la carga mínima disponible, o la diferencia mínima de niveles, sea factible para pasar el gasto máximo demandado, cuidando la variación del porcentaje que se pretende reducir en menos del 10%, para la optimización de los niveles de control.

* En el caso del canal de alimentación de la toma, deberá estar sujeta la ubicación del dispositivo en relación a su elevación, para que los rangos en los que opera de manera constante y las variaciones irregulares ajenas al dispositivo, no alteren los gastos derivados al mismo y afecten notablemente en los rangos de operación que lo rigen.

De manera particular, se analizan y definen las pérdidas producidas por el propio dispositivo, dado que se refleja una pequeña influencia de ésta en cuanto a la variación de niveles dentro del módulo, generando con ello, pequeños errores de medición, por lo que debe definirse perfectamente y ser tomada en cuenta en el análisis de datos.

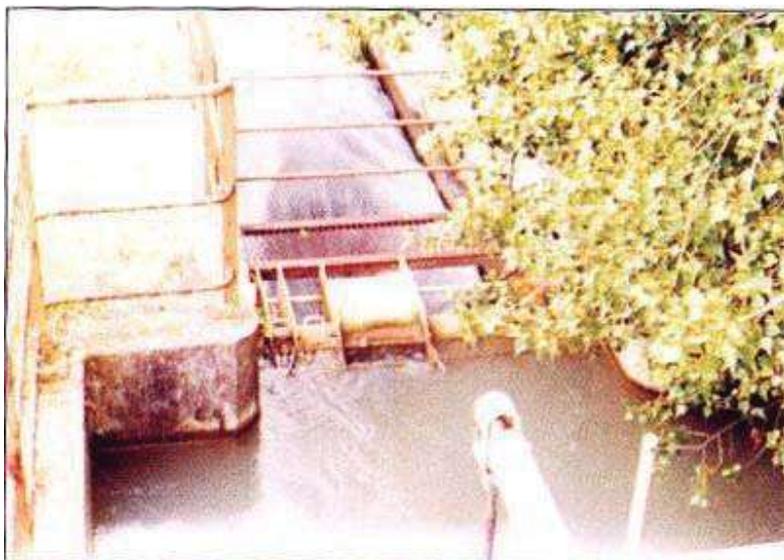
En caso de que se considere que la variación del nivel aguas arriba probablemente rebase el nivel máximo permisible, la instalación de la compuerta reguladora de nivel aguas abajo puede ser instalada para controlar el nivel dentro de los límites requeridos, esta composición mejora la eficiencia y reduce el error en el control de gastos derivados.

Ahora bien, una vez mencionado lo anterior, es preciso hacer mención de los aspectos generales de los reguladores de gasto constante, los cuales, para nuestro interés en particular, serían de los llamados comúnmente módulos Aquacontrol, para después tocar no muy a fondo otras alternativas para éste fin.

II. 2. Generalidades de los módulos aquacontrol.

Las estructuras de control y manejo de agua de riego son estructuras hidráulicas que se construyen en los sistemas de riego superficial abierto que generalmente se utilizan para regular el gasto que pasa a través de la estructura misma, para controlar el tirante en el canal aguas arriba de la estructura o ambas cosas. El control de agua se realiza a base de vertedores, aguas de madera o compuertas deslizantes.

En el caso del módulo Aquacontrol ó también conocido como aforador tipo Neyrpic, el término módulo es usado para nombrar un regulador estático de gasto cuyo funcionamiento aprovecha y combina las características de los vertedores con los orificios; su rango permisible de variación de niveles es muy amplio en comparación con los vertedores y orificios simples.



Fotografía II-1. Módulo descargando a un canal secundario

Estos modelos han sido diseñados para derivar una caudal prácticamente constante, desde un tanque o de un canal a otro, para fines comunes suelen instalarse en las tomas de agua con el fin de derivar un gasto constante tanto hacia las parcelas como hacia otros canales (fotografía II-1). Estos dispositivos son estáticos, es decir, no tienen ningún elemento o mecanismo móvil, únicamente están regidos por la variación, asociada a los límites en que trabajan los niveles aguas arriba y aguas abajo de la ubicación de éste, como ya se menciona, siempre y cuando los niveles se mantengan dentro de un rango previo especificado.

Para lograr que la descarga sea prácticamente constante, el dispositivo cuenta con un umbral de forma especial que tiene una serie de pantallas para controlar,

dentro de un rango predeterminado, la pérdida de carga requerida para que el gasto que fluya a través de la estructura se mantenga constante.

El control y derivación de gasto se obtiene abriendo o cerrando totalmente una compuerta o combinación de compuertas de igual o diferente tamaño, por lo que no se requiere hacer ajustes en la abertura de las compuertas. El gasto permanece prácticamente constante, dentro de un pequeño rango de variación, aunque los niveles del agua en el canal de alimentación fluctúe por arriba o por debajo de su nivel normal de operación, esto siempre y cuando dichos niveles se mantengan dentro del rango que rige al módulo.

Es importante hacer notar que por el sólo hecho de abrir una o varias compuertas en un distribuidor resulta que, de manera automática e indirecta, se está aforando el gasto que fluye a través del mismo, esta situación facilita y simplifica la entrega del volumen que se proporciona al usuario; para esto basta simplemente multiplicar la magnitud del gasto nominal, que se deriva, por el tiempo de descarga.

El aspecto económico es bajo comparado con otros dispositivos, lo vuelve muy competitivo e incluso factible para el mercado, característica por la cual es más viable para el suministro de agua y su cobro por dotación volumétrica.

Estrictamente hablando un módulo aquacontrol no es una estructura de aforo, es más bien, una estructura de control del gasto. La instalación de un aquacontrol requiere de la instalación conjunta de una estructura de control de niveles, debido a que el buen funcionamiento se garantiza manteniendo los niveles dentro de los límites especificados por el fabricante. La estructura reguladora del tirante puede ser un vertedor de cresta larga como un pico de pato, una compuerta Amil, o una estructura similar.

II.2.1. Aplicaciones y Usos.

II.2.1.1 Embalses.

El tipo de modulo seleccionado debe ser compatible con las fluctuaciones del nivel del embalse; si estas son menores, bastara una batería de módulos, pero si son importantes será necesario intercalar, o sea, colocar entre el embalse y el distribuidor, un sistema de regulación de nivel aguas abajo (compuertas AVIO, AVIS o Cilíndrica) cuyo decremento sea inferior a la tolerancia del módulo considerado (lamina II-1).

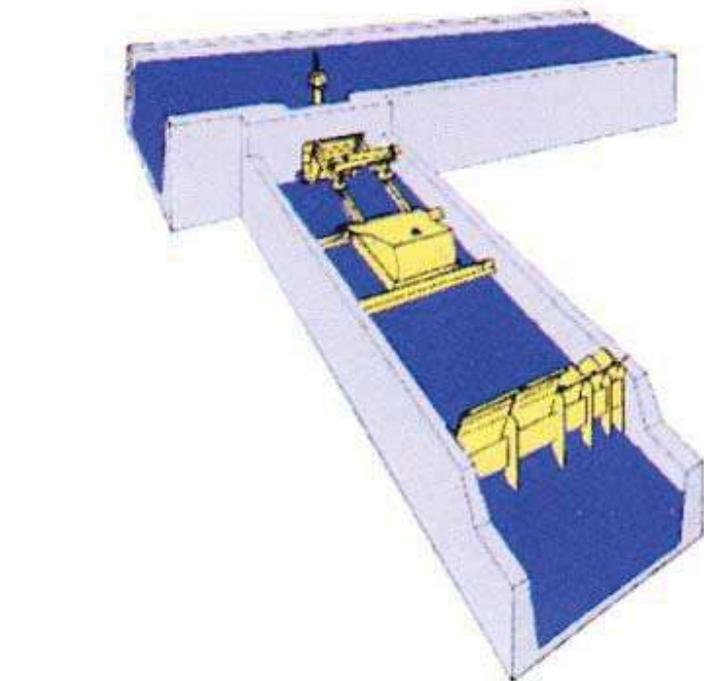
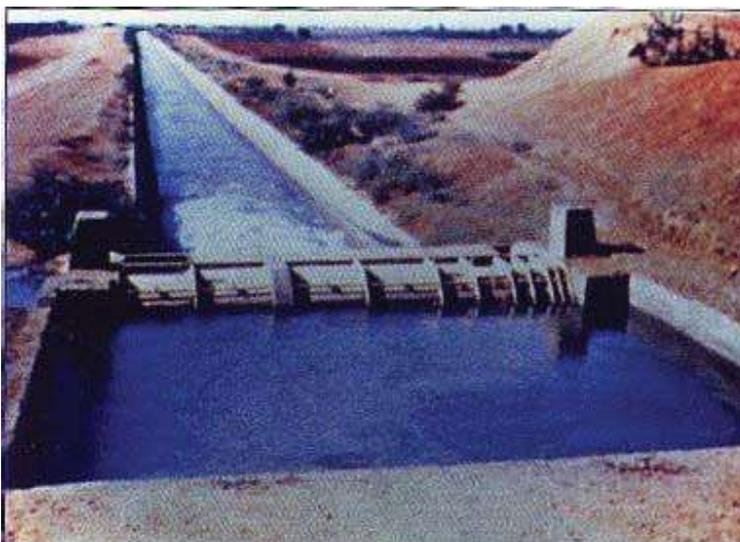


Lámina II-1. Operación con nivel constante aguas arriba, equipado con una compuerta AVIO, para mantener el nivel constante inmediatamente aguas abajo y módulos de gasto constante para delimitar el caudal aguas abajo.

II.2.1.2. En canales de riego.

Instalados en las obras de toma de canales y/o acequias permiten derivar un caudal prácticamente constante, independientemente de las fluctuaciones del nivel aguas arriba. Este caudal es ajustable, en función de las compuertas abiertas.



Fotografía II-2. Derivación en tomas de canales de riego

II.2.2. Principios de operación.

Los gastos constantes suministrados por lo módulos se obtienen sin un mecanismo móvil; la combinación del escalón tipo cimacio con el reductor fijo y plano a determinada altura sobre él, corrige los efectos de un ascenso en el nivel del agua del canal.

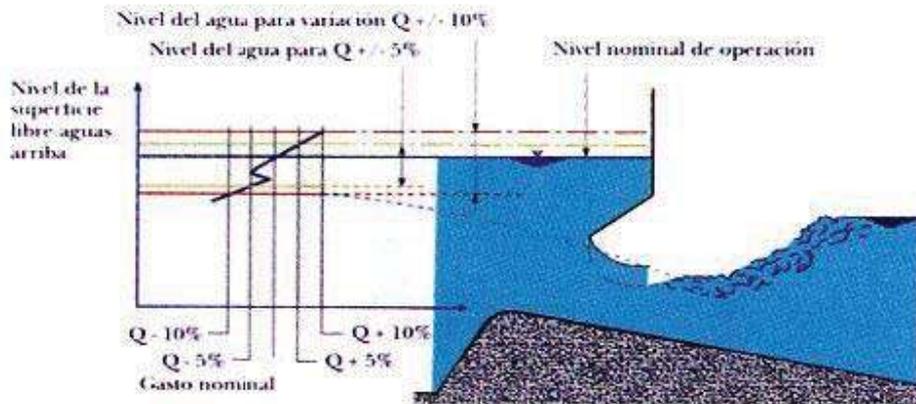
Cuando los niveles del agua en el canal están por debajo del extremo inferior de la placa del reductor, el cimacio opera en condiciones de descarga libre superficial, pero a medida que incrementa el nivel de agua, aumenta también la altura del agua sobre el cimacio, hasta que alcanza el borde inferior de la placa de la placa del reductor.

Por lo cual el funcionamiento del cimacio y del reductor se fusionan, en un solo dispositivo, y actúan hidráulicamente como un orificio de descarga que ahogada que produce una fuerte reducción en el coeficiente de descarga.

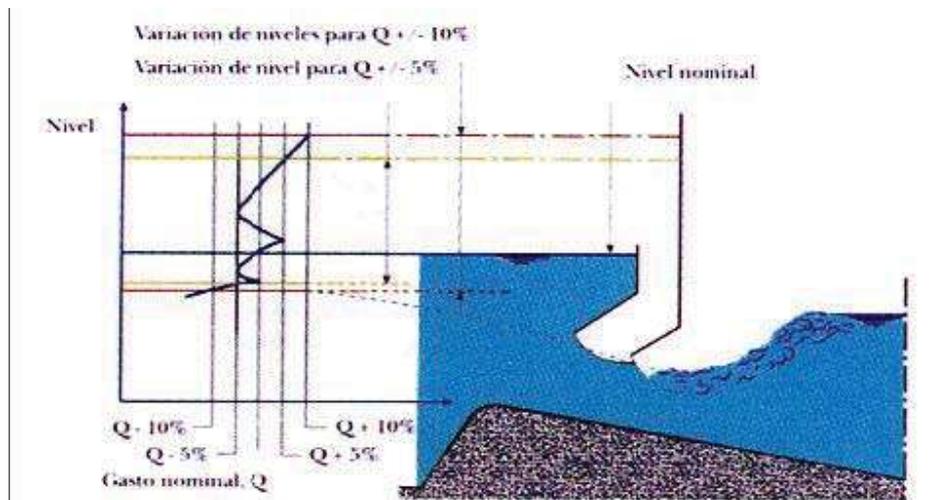
La combinación de estos factores, genera una contracción del área hidráulica del chorro de la descarga que tiende a ser más pronunciada a medida que aumenta que aumenta la carga y consecuentemente se restringe el crecimiento del gasto derivado.

La lamina II-2a ilustra el funcionamiento de un distribuidor con un solo deflector (reductor), en ella se puede observar que el gasto a través del módulo, se mantiene muy cerca de su valor nominal, dentro de una amplia fluctuación del nivel de operación en el canal.

Con la finalidad de incrementar de manera considerable el rango de en las fluctuaciones del nivel de operación, se recomienda colocar un segundo deflector o reductor aguas abajo del primero, tal y como se muestra en la lámina II-2b.



Lamina II-2a. Módulo con una máscara



Lamina II-2b. Módulo con doble máscara

Es importante hacer notar que debido a la contracción del chorro desfogado del primer reductor se instala más cerca del cimacio para formar un orificio más pequeño. De ésta manera, a medida que va aumentando el nivel de agua, aguas arriba del módulo, se llega a una altura, en la que el reductor original queda sumergido, entonces el segundo reductor entra en operación y la tendencia del

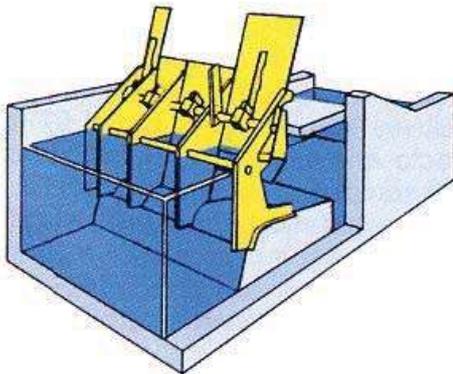
gasto a incrementarse es retardada aún más, debido a que los diversos componentes del módulo fueron diseñados y arreglados para lograr un efecto corrector máximo.

El gasto del módulo normalmente no es afectado por las variaciones del nivel aguas abajo, esto se debe a que la pendiente aguas abajo del cimacio se diseña de tal manera que se produce velocidades mayores a la crítica. No obstante la existencia de los deflectores, o sea, de disipadores de energía, gracias a la formación de un salto hidráulico la energía potencial del agua se recobra, originándose así solamente una pequeña pérdida de carga a través del módulo.

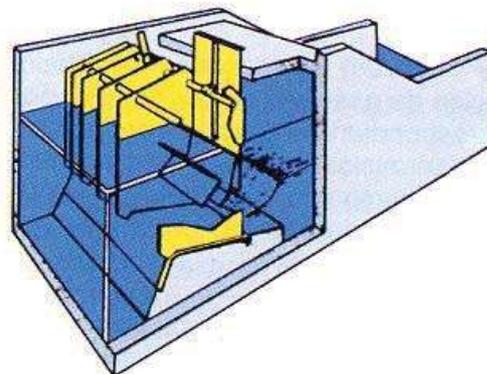
II.2.3. Módulos estándar.

Los distribuidores son dispositivos prefabricados de diferentes materiales, los más comunes son de chapa de acero soldado cuidadosamente protegida contra la corrosión, también lo hay de fibra de vidrio. En general el sistema complemento combina partes de concreto y pinzas de metal o poliéster reforzado con fibra de vidrio, y se coloca sobre una pequeña pérdida de carga a través del módulo.

Cada uno de los elementos está constituido por un deflector fijo (conocido también como reductor, pantalla fija, máscara o baffle) que está colocado encima de un umbral perfilado. Tanto el deflector como el umbral están soldados a unas placas laterales verticales. Incluyen también una pequeña compuerta, plana o de sector, según el tamaño del distribuidor, que se utiliza para abrir o cerrar en su totalidad al módulo (funcionamiento todo o nada).



*Lamina II-3a. Módulo tipo XX₁
con una máscara*



*Lamina II-3b. Módulo tipo XX₂
con doble máscara*

La elección del distribuidor depende del caudal a suministrar y del ancho del ancho del canal, del escalonamiento de caudales, de la pérdida de carga mínima y de las fluctuaciones admisibles del nivel. Se fabrican cuatro tipos de dimensiones en perfile diferentes, caracterizados por el caudal nominal que pasa por un decímetro de ancho:

Serie X:	10 l/s/dm
Serie XX:	20 l/s/dm
Serie L:	50 l/s/dm
Serie C:	100 l/s/dm
Serie CC:	200 l/s/dm (serie especial)

Para cada una de estas series el caudal puede ser fraccionado, de la siguiente manera:

- Serie X. En incremento de 5 l/s por compuertas de 5, 10, 15 y 30 l/s.
- Serie XX. En incrementos de 10 l/s por compuertas de 20, 30, 60 y 90 l/s.
- Serie L. En incrementos de 50 l/s por compuertas de 50, 100, 200 y 400 l/s.
- Serie C. En incrementos de 100 l/s por compuertas de 100, 200, 400, 600 l/s.

Las series pueden ser de una o dos mascararas. En el caso de tener una o dos mascararas, se agregan subíndices que indiquen el número de mascararas que lleva el módulo, siendo el caso 1 ó 2 según el número de pantallas que tengan. Citando un ejemplo, se cuenta con módulos de la serie XX1 y de la serie XX2, como los mostrados en la lámina II-3a y II-3b cuyos rangos permisibles agua arriba son los siguientes:

Designación	Para Mantener una Variación $Q \pm 5\%$	Para Mantener una Variación $Q \pm 10\%$
Máscara simple XX ₁	8 cm.	11 cm.
Máscara simple XX ₂	23 cm.	28 cm.

II.2.4. Arreglos y disposición de los módulos.

Las entradas de las compuertas, o sea los módulos, se arreglan en paralelo lado a lado en fila y normalmente cada compuerta permanece totalmente abierta o totalmente cerrada.

Todas las compuertas quedan fijas en una de las dos posiciones por medio de un estribo especial, y todos los estribos quedan cerrados por medio de una simple palanca a la que se coloca un candado una vez que se han abierto las compuertas para proporcionar seguridad al derivar el gasto requerido. Este arreglo evita que los gastos suministros sean modificados por personas no autorizadas. Además como resultado de las características hidráulicas del equipo, los usuarios no tienen posibilidades de afectar los gastos alterando deliberadamente el nivel del agua.



Fotografía II-3. Arreglo en paralelo

Normalmente se fabrican dos tipos de módulos:

- * Módulos en los que todas sus partes son fabricadas como una sola pieza.
- * Módulos seccionados, que se fraccionan en varias piezas que encajan una dentro de la otra y que por medio de tornillos se amarran en el sitio de instalación, de esta manera se facilita su transporte a lugares de difícil acceso.

II.2.5. Ventajas y desventajas.

- ° Es un aparato muy sencillo, totalmente estático.
- ° El caudal suministrado presenta una menor variación que la de un orificio en carga y mucho más todavía que la de una toma a lámina libre.
- ° Su maniobra es manual y muy sencilla. Aunque su automatización, de apertura y cierre total, sea factible, la motorización de muchas compuertas es relativamente costosa.
- ° Dado que la cota de instalación es definitiva, ésta no se puede cambiar sin modificar la obra de fábrica.

II.3. Alternativas básicas para la instalación en un sistema de riego.

En el documento denominado *Módulos aforadores acucontrol. Instructivo* (editado por la Subsecretaría de Agricultura y Operación de la SARH) se identifican tres alternativas básicas para la instalación de un módulo:

a) Instalación del módulo a la entrada de la bocatoma antes de la tubería.

Esta alternativa es aplicable en la mayoría de los casos de este tipo, pero preferentemente para aquellos en los que la diferencia entre el nivel normal de operación y el terreno por regar sea mayor de 60 cm. (canales grandes) y por lo tanto se requiere una caída a la salida de la toma para evitar erosión.

El diseño de esta alternativa, se presta para construir integralmente la caída, pues basta con profundizar la caja que queda inmediatamente después del módulo para que funcione como caída y dar el nivel adecuado a la salida para ligarla con la regadera del usuario y evitar erosión.

Esta alternativa tiene el inconveniente de que la estructura de la toma, invade parte del camino de operación y de que la construcción de la entrada es más complicada y costosa que la alternativa b) que se comenta a continuación.

b) Instalación del módulo a la salida de la bocatoma después de la tubería.

La localización del módulo a la salida de la toma, después de la tubería, tiene la ventaja de que no invade el camino de operación y la estructura en conjunto es más sencilla y económica que la correspondiente a la alternativa anterior.

Esta alternativa es recomendable para los casos en los que la diferencia entre el nivel normal de operación y el terreno por regar está al mínimo necesario (45cm), o cuando esta diferencia no sobrepase los 60 cm., pues para mayores desniveles

sería necesario construir una caída en la salida del módulo para ligarla con la regadera del usuario y evitar erosión en la salida de la toma.

Esta alternativa es la indicada para las tomas con salida doble o triple para suministrar un gasto controlado a cada usuario, mediante la instalación de un módulo por usuario.

Esta alternativa se presta para la instalación de los módulos en las estructuras actualmente construidas, colocando el módulo en la transición de la salida de la bocatoma, ajustándolos a los niveles requeridos.

c) Instalación del módulo como toma directa sin tubería para algunos casos en los que no exista camino de operación

Esta alternativa como lo indica su enunciado es para aquellos casos (muy frecuentes) en los que el canal no lleva camino de operación del lado de la toma y principalmente para los canales en los que el bordo del canal es menor de 2 m.

Al no utilizarse tubería, el desnivel requerido entre el terreno por regar y el nivel normal de operación se reduce a 35 cm., siendo esta una solución muy aproximada para terrenos altos.

Si la diferencia entre nivel normal de operación y el piso de la regadera fuera mayor de 60 cm., se construirá la transición de salida de la toma, (después del módulo) como una caída vertical, ajustándola al nivel de la regadera para evitar erosión a la salida de la toma.

II.3.1. Alternativas de reguladores de gasto constante.

II.3.1.1. Reguladores de gasto tipo vertedor.

Los vertedores fijos son comúnmente usados como estructuras de control en canales de riego. El funcionamiento de los vertedores es diferente al de los orificios, ya que el área hidráulica en el vertedor cambia con la carga. Este cambio difiere dependiendo de la forma de la sección transversal. Para vertedores rectangulares, que son los más comunes como estructuras de control el nivel de agua, la relación carga – gasto puede describirse por:

$$Q = kh^{3/2} \quad (II.1)$$

Desde luego que el exponente cambia con la forma del vertedor; para un vertedor rectangular es 3/2 y para un vertedor triangular es de 5/2.

Los vertedores más comunes son los de pared delgada y los de pared gruesa, de los cuales se hace referencia a su funcionamiento en el capítulo III. Estos vertedores bien calibrados proporcionan una buena precisión en la medición de caudales.

Por el principio de funcionamiento hidráulico de un vertedor, para que se incremente el gasto vertido en un 10 % es necesario un incremento de la carga hidráulica, sobre la cresta del vertedor, del 6.7%. Para prevenir problemas de sumergencia, o sea, de ahogamiento, la diferencia mínima entre el nivel inmediatamente aguas arriba y el nivel aguas abajo del vertedor debe de ser superior a $2/3$ de la carga máxima que se presenta sobre la cresta, o sea, de la carga asociada al límite superior del rango de niveles de operación.

Los reguladores tipo vertedor pueden satisfacer el gasto requerido por medio de dos alternativas diferentes:

Ajustando la altura de la carga sobre el vertedor.

En este caso el regulador contiene un vertedor móvil que se eleva o se baja en función de la variación del gasto. Su operación y estructura de soporte es semejante a la de una compuerta deslizante (*Lámina II- 4*).

En estos caso, el gasto de diseño es menor que el gasto máximo que se va a transitar por el canal, y la carga sobre la cresta, consecuentemente resulta mas pequeña; por esta razón el rango de variación de niveles permisible aguas arriba también es menor que el rango de variación de niveles asociado a la operación normal del canal.

Se puede indicar que un dispositivo de este tipo es una buena opción solamente en los casos en que se encuentre cerca de un eficiente sistema de regulación de niveles.

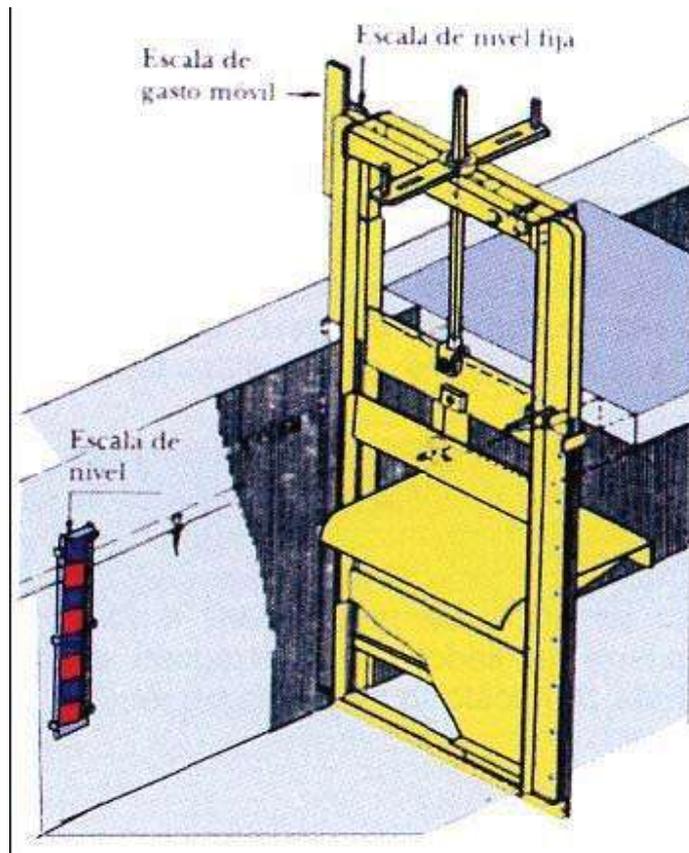


Lámina II-4. **Vertedor móvil.**

Ajustando la longitud efectiva de la cresta del vertedor.

En este caso, el vertedor es dividido en secciones con sistemas de apertura y cierre (compuertas) individualmente calibrados. El funcionamiento se da por la apertura o cierre total de uno o más de estas estructuras en función del caudal que se requiere derivar. En este sistema el rango de permisible de variación de niveles en cada sección está asociado al rango de variación de niveles contemplado para la operación del canal; por esta razón no es necesario contar con un sistema complementario de control de niveles muy eficiente. Los sistemas de apertura y cierre, o sea, los reguladores de caudal que se colocan sobre el vertedor, pueden ser estructuras prefabricadas, con capacidad y dimensiones estándar, de metal u otro material como la fibra de vidrio.

II.3.1.2. Reguladores de gasto tipo orificio.

Los orificios fijos se usan a menudo para medir el flujo de agua. Su uso es mas frecuente en tuberías que en canales abiertos. Los orificios fijos, equipados con compuertas, pueden usarse para regular el caudal, ya que es posible variar el

área del orificio. Las compuertas son simplemente orificios ajustables. Los tipos más comunes para estructuras de control en canales son compuertas rectangulares y compuertas radiales.

La relación carga – gasto para orificios se describe con la siguiente ecuación:

$$Q = CA \sqrt{2gh} \quad (II.2)$$

Donde: Q es el gasto en m^3/s ; A es el área hidráulica en m^2 ; g es la aceleración de la gravedad ($9.81m/s^2$); h es la carga sobre el orificio en m; C es el coeficiente de descarga, el cual depende de varios factores tales como, la contracción del área del orificio, la geometría de las paredes, la velocidad de llegada, etc.).

La carga que debe medirse para obtener el gasto con la ecuación anterior se deberá medir de acuerdo a la posición del orificio. Por ejemplo, cuando el orificio esta situado arriba del fondo del canal, la carga se mide desde el centro de este hasta la superficie del agua. Para compuertas en canales la medición se hace a partir de la base de la abertura de la compuerta hasta la superficie.

La descarga en un orificio se vuelve sumergida cuando el nivel aguas abajo del orificio comienza a afectar el flujo a través del mismo. Para esto basta que con una velocidad baja el nivel aguas abajo del orificio alcance a cubrir la mitad del orificio, a partir de esto se puede decir que es descarga sumergida ó ahogada. Sin embargo, para velocidades relativamente altas aguas abajo, el nivel aguas abajo puede estar aún por encima de la parte superior del orificio y no causar efectos de sumergencia. Al ocurrir esto, el nivel del agua hace un cambio repentino en el nivel a cierta distancia aguas abajo del orificio o compuerta y es por eso que a este fenómeno se le conoce como “salto hidráulico”. Por lo tanto, cuando el nivel inmediatamente aguas abajo del orificio está por encima de la parte superior de la abertura, la descarga de la compuerta es sumergida o ahogada.

Al suceder que un orificio llega a estar sumergido, la carga sobre el orificio será, la diferencia de niveles aguas arriba y aguas abajo. Es preferible, en el caso de una estimación mas precisa del gasto que pasa por una compuerta, que la descarga sea libre, ya que se tienen menos cambios debido a la contracción que se genera en el flujo, dando como resultado menos afectación al valor de C en la ecuación que se presentó anteriormente. Desde luego que existen otros factores que afectan a este coeficiente C, tales como: la velocidad de llegada, la geometría de la transición del canal aguas arriba de la abertura del orificio, la construcción del borde del orificio o sello de las compuertas, condiciones de flujo, etc. Por esta razón las compuertas sumergidas no son usualmente dispositivos exactos para medir el gasto. Sin embargo, estos son, dispositivos efectivos de control del agua.

Por la relación de carga/gasto que se tiene en un orificio, resulta que para incrementar o decrecer en un 10 % el gasto descargado, se requiere una variación de la carga sobre el orificio del 20%. La mínima diferencia de carga entre la

entrada y salida del orificio debe ser mayor o igual a la carga sobre el orificio cuando el canal opera con el nivel asociado al límite inferior de su rango de operación.

La variación permisible del nivel aguas arriba es de un orden tres veces mayor que en el caso de reguladores tipo vertedor. Si bien la variación permisible todavía es pequeña, cuando hay suficiente carga disponible la regulación del flujo con orificios es practicable.

Los reguladores de orificio más simples están constituidos por una tubería en cuyo extremo aguas abajo se ha colocado una compuerta deslizante, y con la esta compuerta se realizan los ajustes necesarios para controlar el caudal requerido en función de la demanda que se tenga hacia aguas abajo.

Orificio de Carga Constante. Es un tipo especial de compuerta de orificio que fue desarrollado por *United States Bureau of Reclamation* para controlar la descarga de la compuerta. Esta consiste en dos compuertas, una seguida de la otra, la primera se coloca en una abertura necesaria para proporcionar una descarga deseada para una diferencia de carga específica. La compuerta aguas arriba controla el tamaño del orificio rectangular, mientras la compuerta aguas abajo es operada para mantener constante la diferencia de carga entre la entrada y la salida del orificio rectangular, normalmente de 0.06 m. el gasto que pasa por la estructura cambia en función de la apertura del orificio rectangular, o sea, en función del incremento o decremento de su área hidráulica; la magnitud del gasto se conoce y se controla con apoyo de curvas de calibración que han sido previamente elaboradas.

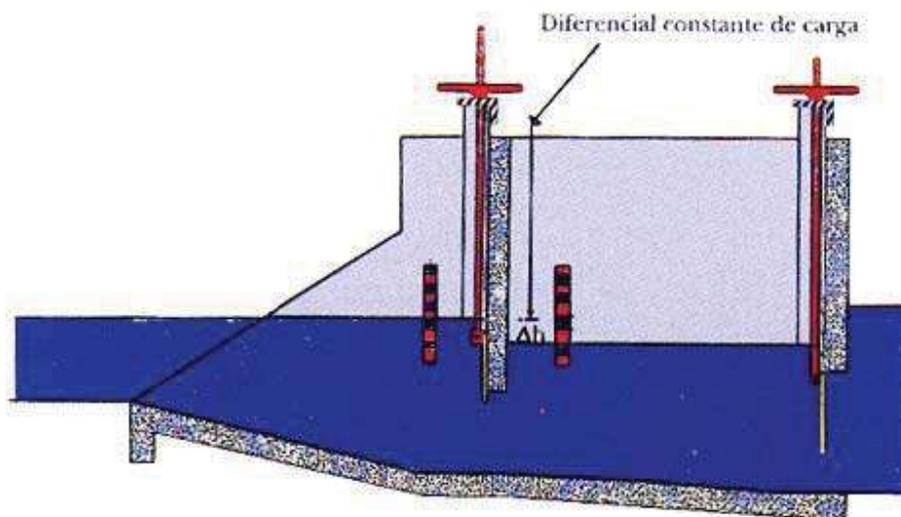


Lámina II-5. Sistema de control de carga constante con orificio sumergido y doble compuerta.

III. CONCEPTOS BÁSICOS.

III.1. Glosario.

Módulo. Es el ensamble de compuertas/orificios y vertedor que, colocados entre dos paredes, conforman el dispositivo de control de gasto en el que se basa el estudio. Estos dispositivos se colocan de forma perpendicular a un canal principal y, en función del nivel de agua en el mismo, entregan a los canales y canaletas del usuario final un gasto determinado por la separación entre paredes que se encuentra dentro de un rango permitido.

Máscara. Son las placas colocadas en el interior del módulo de forma que obstruyen y modifican el flujo y que por su geometría funcionan como una compuerta con abertura de fondo u orificio. De su geometría y ubicación depende el comportamiento de control de gasto del dispositivo.

Escalón. Es una placa colocada en el fondo que hace las veces de vertedor y que proporciona en principio un control del gasto basado en la sección mayor con la menor carga, es decir, que permite que pase el mayor gasto con la menor carga sobre la cresta del mismo. La forma del escalón se ha elegido para el diseño original como aquella que más se parece a un vertedor tipo cimacio, si bien un vertedor tipo WES podría controlar mejor el gasto (Sotelo).

Control de gasto. El módulo tiene como función delimitar el gasto mínimo y máximo en un rango definido para un rango de entrega funcional. De esta forma, las variaciones en el canal principal resultarán en una salida más o menos constante de gasto para el usuario final que resulta en un funcionamiento más eficiente de la operación del sistema de canales. Este sistema de control está conformado por el conjunto de las máscaras y el escalón, así como por la separación entre las paredes del módulo.

Gasto nominal. El rango de control define en la zona central un gasto llamado "nominal", que es el valor con el cual se definen la clasificación de los módulos. Cabe esperar que para el rango de entrega de trabajo, el gasto nominal represente el promedio de las variaciones menores de funcionamiento y por lo tanto, sea el parámetro de cálculo o variable que el módulo integra al sistema para análisis posteriores hidráulicos o económicos.

Rango de entrega. Es la variación de niveles permitida para garantizar una entrega que se conforme al control de gasto ofrecido por el módulo. Depende de tres variables particulares: el nivel del canal de llamada, el nivel de la cresta vertedora y la geometría y elevaciones de los módulos, si bien cabe aclarar que para que el módulo funcione como se espera, el nivel debe estar dentro de los niveles mínimo y máximo de las máscaras, pues dentro del orificio formado por el escalón y la primer máscara el gasto depende únicamente del nivel de llegada.

III.2. Teorías relativas al estudio.

Dentro del estudio del funcionamiento de este dispositivo, se nos hace ver como es que éste en sí, es la combinación del funcionamiento de varias estructuras que en un momento dado se les utiliza en forma separada como estructuras de control, ya sea, control de niveles y de gasto en el caso de los vertedores y orificios dentro de los principios de operación de un sistema de distribución como ya pudimos aclarar en el capítulo anterior. Sin embargo, es conveniente analizar algunos aspectos del funcionamiento hidráulico de cada uno de los dispositivos por separado, que hacen posible el funcionamiento y eficiencia de los módulos Aquacontrol, además que esto nos sirve como referencia para el diseño y construcción del vertedor de pared delgada hecho ex profeso, para la medición del gasto a la salida del módulo.

III.2.1. Vertedores.

Cuando la descarga del líquido se efectúa por encima de un muro o de una placa y a superficie libre, la estructura hidráulica en la que ocurre se llama vertedor; éste puede presentar diferentes formas según las finalidades a que se le destine. Así, cuando la descarga se efectúa sobre una placa con perfil de cualquier forma, pero con arista aguda, el vertedor se llama de pared delgada; por el contrario, cuando el contacto entre la pared y la lamina vertiente es más bien toda una superficie, el vertedor es de pared gruesa. Ambos tipos pueden utilizarse como dispositivos de aforo en un laboratorio o en canales de pequeñas dimensiones, pero el segundo puede emplearse como obra de control o de excedencias en una presa y también de aforo en canales grandes.

El punto o arista mas bajo de la pared en contacto con la lámina vertiente, se conoce como cresta del vertedor; el desnivel entre la superficie libre, aguas arriba del vertedor y su cresta, se conoce como carga (*Lámina III-1*).

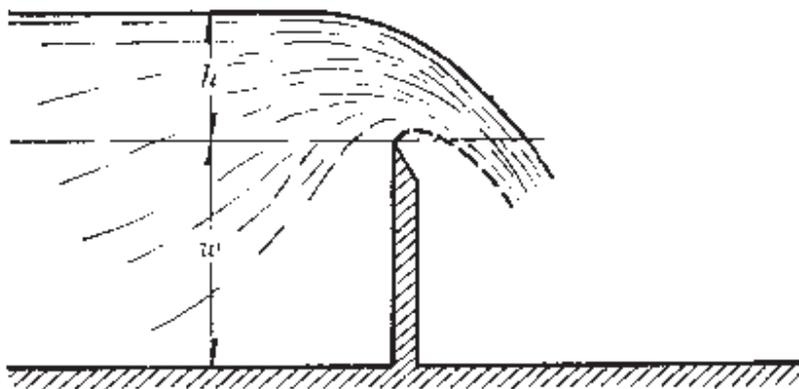


Lámina III-1 Vertedor de pared delgada.

III.2.1.1. Vertedores de pared delgada.

Ecuación general del gasto.- Considere un vertedor de pared delgada y sección geométrica, como se observa en la *Lámina III-1*, cuya cresta se encuentra a una altura w , medida desde la plantilla del canal de alimentación. El desnivel entre la superficie inalterada del agua, antes del vertedor y la cresta, es h y la velocidad uniforme de llegada del agua es V

El gasto a través del área elemental de las formas usuales de vertedores de pared delgada se puede representar por la ecuación general:

$$dQ = \sqrt{2gy} dA \quad (III.1)$$

Una vez que ya se obtuvo la ecuación anterior se debe agregar dentro de esta un coeficiente que considere el efecto de contracción de la lámina vertiente, el cual variara de acuerdo las condiciones del vertedor y su forma. Teóricamente se han desarrollado expresiones que representen el efecto de dicha contracción en la descarga. Sin embargo, las condiciones del vertedor son únicas para cada caso, por ejemplo, la forma de la abertura del vertedor puede ser cualquiera a demás de rectangular y triangular, que son las mas comunes, además de circular, parabólica, etc.

Así que la ecuación que gobierna sobre todo tipo de vertedor seria de la siguiente forma:

$$Q = Ch^n \quad (III.2)$$

Si suponemos que la ecuación anterior se cumple en todos los vertedores, entonces en la practica C no es constante para todos los vertedores, si no que varia ligeramente según las condiciones reales de cada vertedor. Entonces C llegaría a ser constante única y exclusivamente para un vertedor en particular por lo que debe hacerse una calibración para cada caso. Debido a esto, en el capitulo V se muestra el procedimiento para la calibración mencionada.

III.2.1.2. Vertedores de pared gruesa.

Las *Lámina III-2 a, b, c, d, e*, representan diversos tipos de vertedores de pared gruesa utilizados en los embalses y canales como control. Pueden utilizarse como medidores de flujo; pero dan menos precisión que los de pared delgada, los cuales, como hemos mencionado, se prefieren en dicha aplicación.

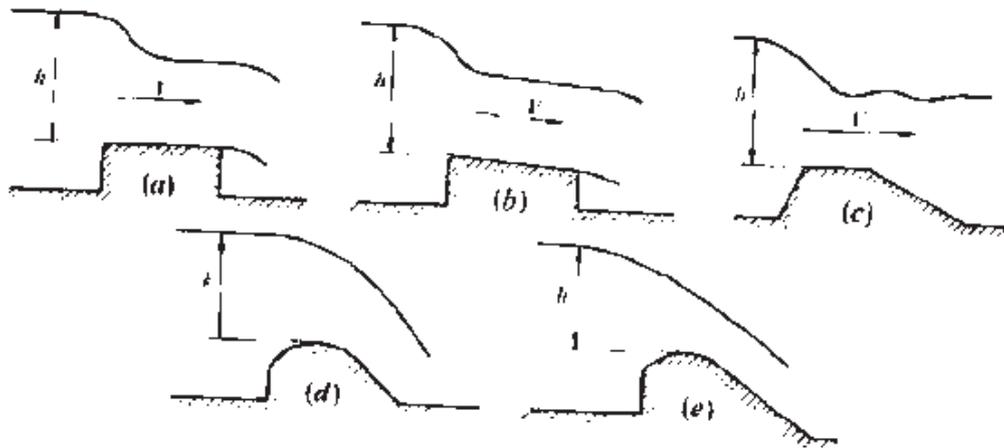


Lámina III-2 **Tipos de vertedores de pared gruesa**

El vertedor parabólico de la Lámina III-2e ofrece la ventaja de que para desaguar un caudal determinado con ancho de cresta determinada, la altura de la lamina h requerida es mínima.

III.2.1.3. Vertedores tipo cimacio.

Dentro de este apartado se aborda de manera mas particular este tipo de vertedores, ya que debido a su forma, su eficiencia al desalojar un caudal es la mejor opción. Esto servirá como base para poder determinar en un momento dado el comportamiento del flujo dentro del módulo Aquacontrol, ya que éste cuenta, dentro de su configuración original, con un vertedor de este tipo.

Forma de la cresta. Las formas de las primeras crestas fueron basadas usualmente sobre una parábola simple diseñada para ajustar la trayectoria de la vena líquida cayendo aguas abajo de la cresta del vertedor de pared delgada. Bazin hizo las primeras investigaciones de laboratorio, acerca de las formas de la vena líquida. Sin embargo, fue Creager el primero que ideó este tipo de vertedores a los cuales se les ha dado el nombre de "cimacios" (Lámina III-2d, e).

El perfil de un vertedor tipo cimacio se puede diseñar solamente para una altura. Esta altura es la altura de diseño, la que produce generalmente una capa inferior del flujo que concuerda muy bien con el perfil del vertedor.

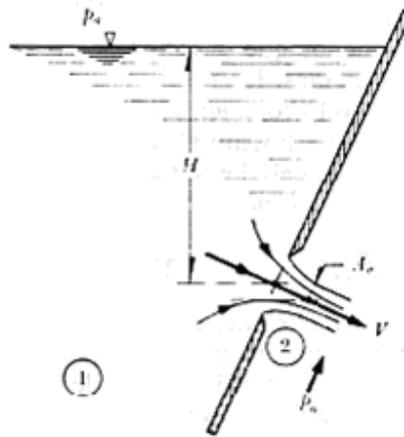
III.2.2. Orificios.

Un orificio es una abertura practicada en la pared de un depósito o en un diafragma en una tubería por donde circula un fluido. Las aplicaciones más comunes son: control de flujo y medición de caudales. La forma puede ser cualquiera: circular, rectangular, etc.; aunque la forma más frecuente es la circular.

El tamaño puede ser desde unos mm^2 hasta m^2 . Algunos ejemplos de estos últimos son la abertura rectangular al extremo de un canal y la abertura de entrada del embalse de una turbina, obturada por una compuerta deslizante.

III.2.2.1. Orificios de pared delgada.

La particularidad de estos orificios es que el único contacto entre el líquido y la pared debe ser alrededor de una arista afilada como se muestra en la *Lamina III-3*. Como se puede observar, las partículas de líquido en la proximidad del orificio se mueven aproximadamente en dirección al centro del mismo, de modo que, por efecto de su inercia, la deflexión brusca que sufren produce una contracción del chorro, la cual se alcanza en la sección 2. A esta sección se le llama contraída y tiene un área A_c inferior al área A del orificio.



Lamina III-3 Orificio de pared delgada.

Para fines prácticos la deducción de la ecuación no es ampliada, así que solo consideraremos lo más relevante. Así que partiendo de que la velocidad del flujo a la salida del orificio se determina a partir de la ecuación de Bernoulli entre las dos secciones de la vena líquida, de la cual se concluye que:

$$V = C_v \sqrt{2gH} \quad (III.3)$$

Donde: C_v , es un coeficiente sin dimensiones muy próximo a la sección 1, llamado de velocidad. Sin embargo, si el área de la sección contraída se calcula en términos de la del orificio, por medio de un coeficiente C_c llamado de contracción (también sin dimensiones), en la forma:

$$A_c = C_c A \quad (III.4)$$

el gasto descargado por el orificio es entonces

$$Q = C_v C_c A \sqrt{2gH} \quad (III.5)$$

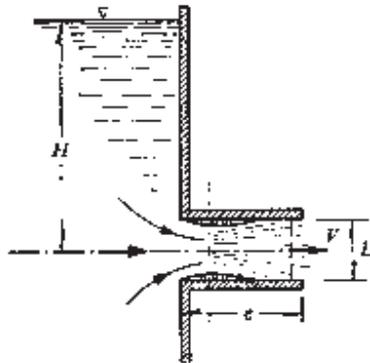
o bien, con $C_d = C_c C_v$ (coeficiente de gasto), el gasto se calcula finalmente con la ecuación general de un orificio de pared delgada, a saber:

$$Q = C_d A \sqrt{2gH} \quad (III.6)$$

Conviene aclarar que en las ecuaciones anteriores se consideró H como el desnivel entre la superficie libre al centro de gravedad del orificio.

III.2.2.2. Orificios de pared gruesa

Cuando la pared en el contorno de un orificio no tiene aristas afiladas, el orificio es de pared gruesa o tubo corto (Lamina III-4)



Lamina III-4 Orificio de pared gruesa.

En este tipo de orificio se observa que el chorro, una vez que ha pasado la sección contraída, tiene todavía espacio dentro del tubo para expandirse y llenar la totalidad de la sección. Entre la sección contraída y al final ocurre un rápido descenso de la velocidad acompañado de una turbulencia y fuerte pérdida de energía.

Por razonamiento análogo al de los orificios de pared delgada, de concluye que la velocidad de salida del líquido se puede calcular con la misma ecuación:

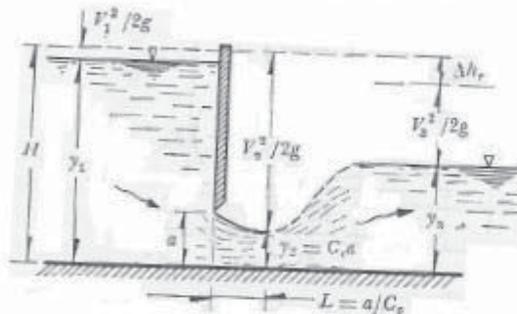
$$V = C_v \sqrt{2gH} \quad (III.7)$$

Donde: El coeficiente de velocidad C_v se reduce ahora hasta el valor 0.82, encontrado experimentalmente por diferentes investigadores, cuando $e/D = 3$. Además, siendo ahora $C_c = 1$ la ecuación del gasto es la misma, con la única circunstancia que $C_d = C_v = 0.82$, esto es, el gasto es, aproximadamente, un tercio mayor en un orificio de pared delgada. Lo anterior se explica debido a que en la sección contraída se forma un vacío parcial con presión ligeramente menor que la atmosférica e incrementa el valor efectivo de la carga H .

Es de interés mencionar que cuando, $e/D > 3$, empieza a tener influencia la fricción y el tubo corto debe considerarse como un conducto a presión, incluyendo todas sus pérdidas de energía.

III.2.3. Compuertas.

Una compuerta consiste en una placa móvil, plana o curva. Que al levantarse permite graduar la altura del orificio que se va descubriendo, a la vez que controla la descarga producida. El orificio que se forma se hace entre el piso de un canal y el borde inferior de la compuerta, por lo que su ancho coincide con el del canal; en estas condiciones el flujo puede considerarse bidimensional (Lamina III-5).



Lamina III-5

De manera similar a la deducción de la expresión que se usa para determinar el caudal que pasa a través de un orificio, se hace también con el caudal que pasa a través de una compuerta, solo que para fines prácticos omitiremos el procedimiento. De manera que la ecuación general del gasto para cualquier tipo de compuerta esta dada por:

$$Q = C_d b a \sqrt{2gy_1} \quad (III.8)$$

Donde: C_d , es un coeficiente de gasto que esta en función de otros coeficientes y la altura del orificio(a) formado al subir la compuerta, y b , que corresponde al ancho de éste.

IV. PLAN DE DESARROLLO Y APLICACIÓN DE ALGUNOS ANÁLISIS ESTADÍSTICOS, PARA CONDICIONES DESFAVORABLES.

IV.1. Plan de pruebas.

El objetivo del presente estudio es encontrar la distribución geométrica que permita optimizar el funcionamiento de un módulo aquacontrol de tipo XX₂. Cabe mencionar que la optimización puede, en principio, establecerse como dependiente de las tres siguientes variables:

1. Máximo gasto promedio
2. Mínima variación en el gasto para nivel variable en el canal principal
3. Máximo rango de operación del módulo

Cabe mencionar que la optimización de una variable no depende de la optimización de las otras, por lo cual podría o no resultar una geometría que mejore los tres casos o dos de forma simultánea.

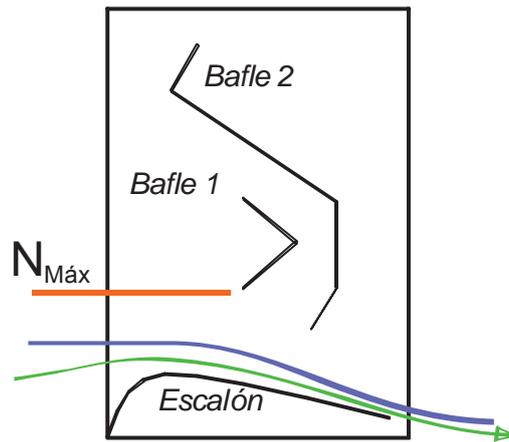
Adicionalmente, se buscará:

- Reducir la presencia de vorticidad generada para determinados niveles en el canal principal
- Observar la posible relación entre vorticidad y las variables de estudio

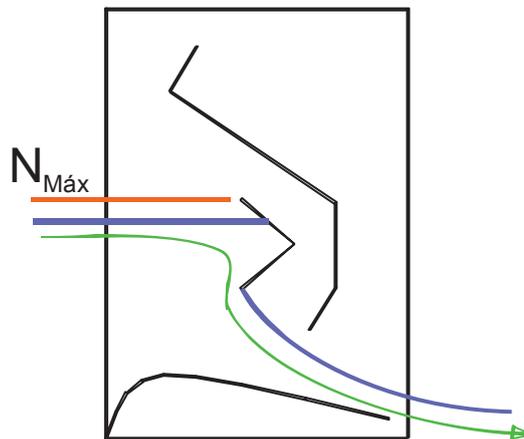
Con el fin de cumplir con el objetivo, se modificará la geometría que más se aproxima a ser óptima, y que fue el resultado de la primera fase del estudio. A partir de ella, se modificará y estudiará la influencia de cambios menores en los ángulos internos, bordes, formas, etc.

La literatura sugiere que el funcionamiento de un módulo aquacontrol puede representarse como el de una combinación de tres elementos básicos:

1. *Vertedor*. Es la zona de funcionamiento del módulo en la cual sólo el escalón o vertedor controla la entrega del gasto. Es válido hasta el momento donde el nivel del agua en el canal principal toca la parte inferior del bafle 1.



2. *Placa con abertura de fondo.* Se refiere a la zona de funcionamiento en la cual se presenta el nivel de operación nominal, es decir, aquél para el cual se diseña el módulo y en cuya presencia se entrega el gasto de diseño. En esta zona, el baffle 1 descarga sobre el vertedor, funcionando como placa con abertura de fondo.



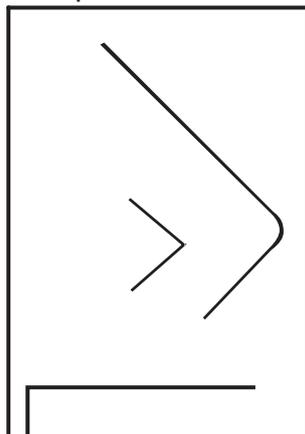
3. *Tubo o conducto a contra flujo.* Una vez que el agua rebasa el nivel de operación nominal, éste comienza a descargar por la parte superior del baffle 1, a manera de un vertedor. El funcionamiento se hace un poco más complejo entonces, pues llegando a determinada combinación de nivel en el canal principal y distancia y forma del baffle 2, comenzaría a llenarse el espacio entre los dos baffles, comenzando entonces el funcionamiento de esta parte de la geometría como un tubo o conducto a presión, que entregaría su parte del gasto a contra flujo, aumentando la pérdida de energía y controlando así la ganancia de carga hidráulica, resultando en un gasto promedio entregado más o menos uniforme.



En la zona de tubo, existe sin embargo una altura máxima ideal de funcionamiento del módulo, y se define como aquella para la cual se entrega el 110% del gasto nominal de diseño. De esta forma, la diferencia de alturas entre el nivel para el cual se presenta el 90% del gasto nominal y el 110% del mismo, determina el rango de operación del módulo.

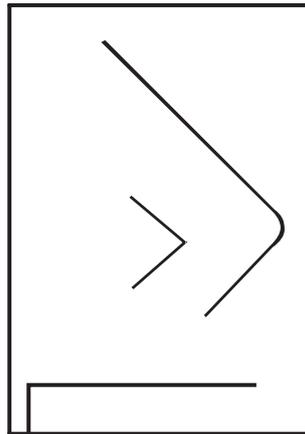
IV.1.1. Control de pruebas.

La geometría del módulo encontrado como más próximo a un óptimo en la fase inicial del estudio es, de forma esquemática:



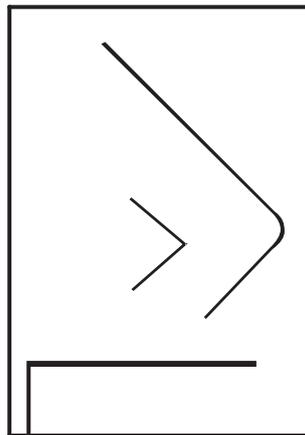
Aquí, es posible definir el plan de pruebas a partir de lo mencionado, resultando una distribución como sigue –cabe mencionar que cada prueba puede tener una serie menor, por ejemplo, en el caso de medir la influencia de la altura del escalón, se harán tantas modificaciones como sean necesarias a la altura en intervalos pequeños si se descubre que esta alteración mejora las condiciones de entrega (variables de optimización)-:

1. Control (prueba con las condiciones sin modificación)

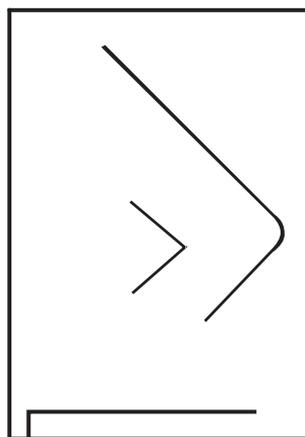


Prueba 1.1

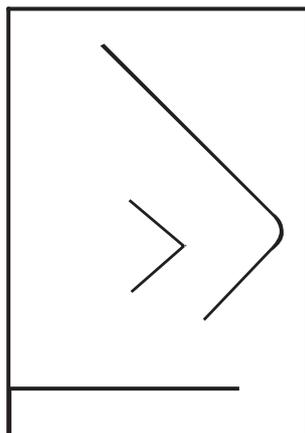
2. Influencia del escalón (altura y posición)



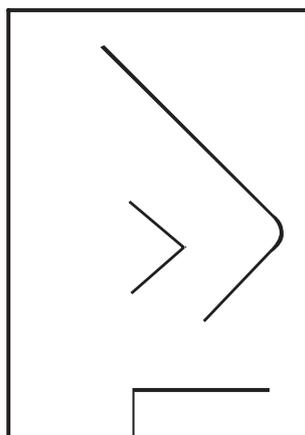
Prueba 2.1. escalón más "alto"



Prueba 2.2 escalón mas "bajo"



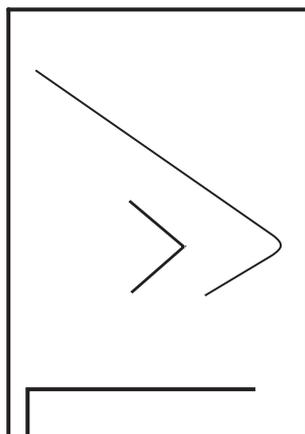
Prueba 2.3 escalón mas adelante



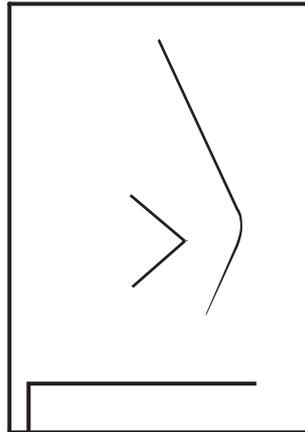
Prueba 2.4 escalón mas atrás

Pruebas 2.5 en adelante (no se muestra figura)
 Cambio de longitud del escalón en las 4 configuraciones anteriores,
 para que sea más corto o más largo que el "control"

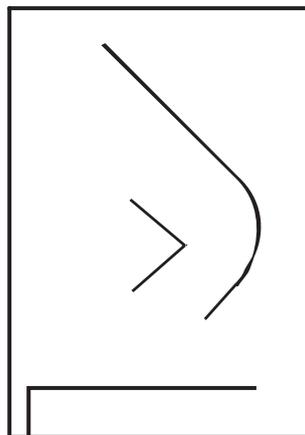
3. Influencia del ángulo interno del bafle 2, y del dobléz



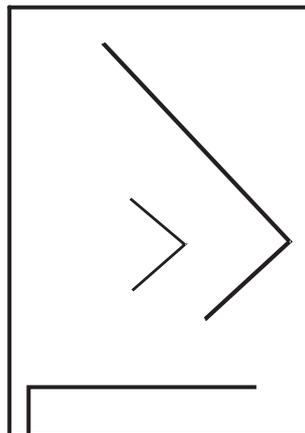
Prueba 3.1 más cerrado



Prueba 3.2 más abierto



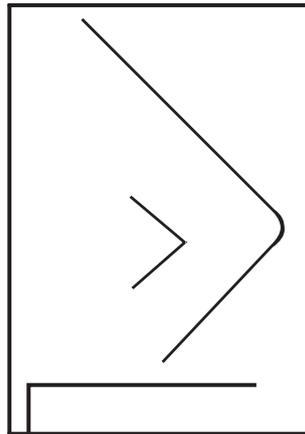
Prueba 3.3 ángulo más redondeado



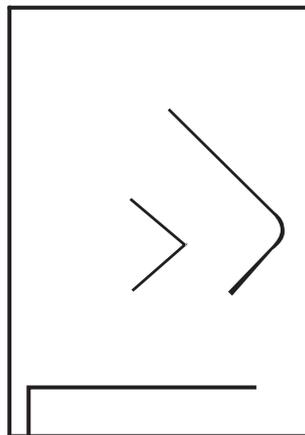
Prueba 3.4 ángulo en esquina

Prueba 3.5 En adelante (no se muestra figura)
Combinaciones de las pruebas anteriores

4. Influencia de la longitud del bafle 2

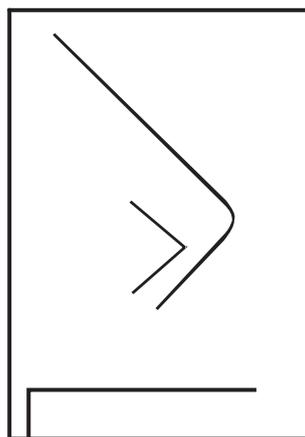


Prueba 4.1 más largo

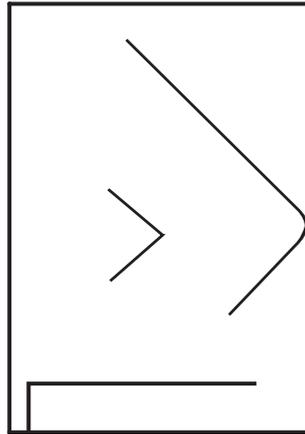


Prueba 4.2 más corto

5. Influencia de la separación entre el bafle 1 y el 2

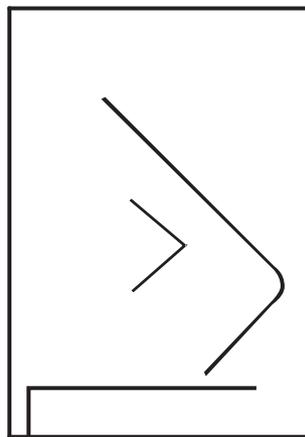


Prueba 5.1 más cerca

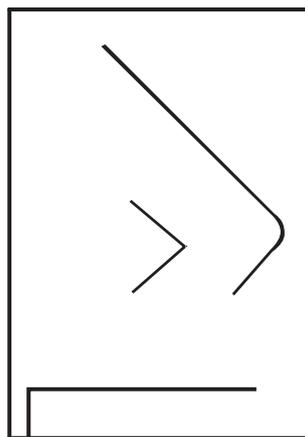


Prueba 5.2 más separados

6. Influencia de la separación entre el baffle 2 y el escalón



Prueba 6.1 más cerca



Prueba 6.2 más separados

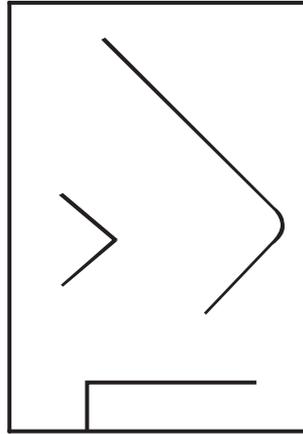
7. Influencia del ángulo interno del baffle 1, y del dobléz

Pruebas 7.1 a las necesarias (no se muestra figura).
Igual a las pruebas 3, pero para el baffle 1

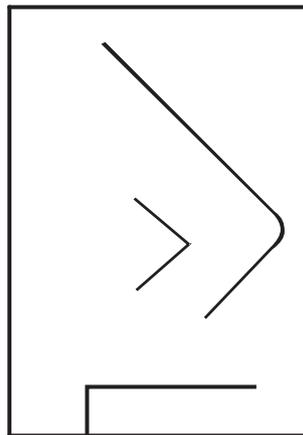
8. Influencia de la longitud del bafle 1

Pruebas 4.1 y 4.2 (no se muestra figura)
Igual a las pruebas 3, pero para el bafle 1

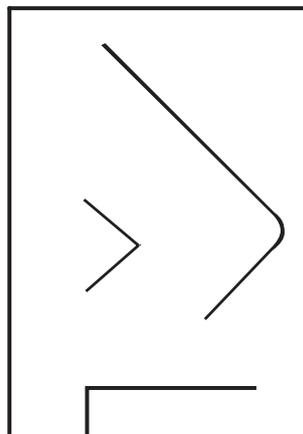
9. Influencia de la colocación del bafle 1 respecto del escalón



Prueba 9.1 más delante de la cresta del escalón



Prueba 9.2 más hacia atrás de la cresta del escalón



Prueba 9.3 sobre la cresta del escalón

10. combinaciones de las pruebas anteriores, que por separado hayan resultado en valores óptimos
11. disminución/eliminación de la vorticidad. En este conjunto de pruebas, se colocarán dispositivos menores sobre, cerca o delante de la cresta del baffle 1 (nivel de operación nominal) que permitan reducir o eliminar la vorticidad generada al llegar el nivel en el canal principal a esta altura.
12. influencia de la vorticidad en las variables de estudio. Finalmente, con la geometría más óptima se tomará como nuevo "control" y se comparará con la prueba que elimine o reduzca de la mejor manera la vorticidad, para buscar la influencia que ésta última pueda tener sobre el manejo del gasto promedio entregado (o el volumen total en el tiempo).

IV.1.2. Variables a optimizar.

Los valores experimentales que se consideran ligados a las variables a optimizar, son:

- Volumen total entregado en el tiempo. Se considera que una variación mínima en el gasto promedio permitirá conocer con exactitud el tiempo necesario para entregar el volumen contratado por el usuario. Este valor podría ser relacionado con la eficiencia del módulo.
- Gasto instantáneo. La suma de los gastos instantáneos entregados contra las alturas, define el gasto promedio, por lo cual la medición cuidadosa del mismo y de los niveles en el canal principal deberá ser propiciada.
- Gasto instantáneo entregado al nivel de operación nominal. Define el gasto de diseño del módulo. Puede ser mayor o menor al entregado por el diseño original del módulo, pero se considera más importante el parámetro primero. Este parámetro puede ser modificado alterando la distancia entre las paredes del módulo (abertura).
- Rango de operación. Define la diferencia de niveles permisibles en el canal principal de forma que no se rebase la frontera de $\pm 10\%$ del gasto nominal. A valores mayores, se considera que el módulo regula mejor y permite ser usado en condiciones de campo más desfavorables en lo relativo a la permanencia del flujo en el canal principal.

IV.1.2. Aplicación de algunos análisis estadísticos, para condiciones desfavorables.

IV.1.2.1. Investigación.

La investigación es un proceso por el cual se descubren conocimientos nuevos. Una teoría de la motivación o el desarrollo, por ejemplo, nos ayuda a organizar información nueva en cuerpo coherente, un conjunto de ideas relacionadas que explican sucesos que han ocurrido y predicen eventos que ocurrirán. Las teorías son una parte importante de la ciencia. No obstante, es en la planta baja, por así decirlo, que el investigador trabaja para poner en marcha el proceso, añadiendo unas cuantas ideas aquí y una que otra especulación nueva allá, hasta que todo se conjunta para formar un cuerpo de conocimientos.

La investigación de alta calidad se caracteriza por varios atributos distintos:

1. Se basa en el trabajo de otros autores.
2. Se puede repetir.
3. Se puede generalizar a otras situaciones.
4. Se basa en algún razonamiento lógico y está vinculado a una teoría.
5. Se puede hacer.
6. Genera nuevas preguntas o es de naturaleza cíclica.
7. Es incremental.
8. Es una actividad apolítica que debe emprenderse con el fin de mejorar la sociedad.

Una vez analizado el objeto en estudio de manera superficial, es importante la formulación de una hipótesis, la suposición de nuevos factores que intervengan directamente en el objeto en estudio, y de manera empírica, predecir su funcionamiento, de aquí que la hipótesis sobre el funcionamiento del dispositivo sea necesaria.

IV.1.2.2. Formulación de la hipótesis.

Con frecuencia, los problemas a los que se enfrentan el científico o el ingeniero no se refieren a un solo parámetro o característica, por el contrario, la formulación de un procedimiento de decisión basado en datos que pueda producir una conclusión acerca de algún sistema científico. Por ejemplo, un ingeniero podría tener la necesidad de decidir, con base en datos muestrales, si existe alguna diferencia entre las precisiones de dos clases de medidores. En este caso el ingeniero o el científico postulan o conjeturan algo acerca de un sistema. Asimismo, cada uno debe incluir el uso de datos experimentales y tomar decisiones con base a ellos. De modo formal, la conjetura se puede exponer como una hipótesis estadística. Los procedimientos que conducen a la aceptación o rechazo de hipótesis estadísticas tales como las anteriores (presentadas en el trabajo de investigación para tesis del Ing. Jaime Alberto Rivero Moreno), comprenden un área muy importante de la inferencia

estadística. Primero se definirá con precisión que debe ser una hipótesis estadística.

IV.1.2.3. Hipótesis estadística.

Una hipótesis estadística es un enunciado acerca de la distribución de probabilidad de una variable aleatoria. Las hipótesis estadísticas a menudo involucran uno o más características de la distribución, como por ejemplo forma o independencia de la variable aleatoria.

Es importante recordar que las hipótesis son siempre enunciados relativos a la población o distribución bajo estudio, no enunciados en torno a la muestra. El valor del parámetro de la población especificado en la hipótesis suele determinarse de una de tres maneras:

- a. Puede resultar de la experiencia o conocimientos pasados del proceso, o incluso de experimentación previa. El objetivo entonces de la prueba de hipótesis suele ser entonces determinar si la situación experimental ha cambiado.
- b. Este valor puede determinarse a partir de alguna teoría o modelo con respecto al objeto que se estudia. Aquí el objetivo de la prueba de hipótesis es verificar la teoría o modelo.
- c. Surge cuando el valor del parámetro de la población es resultado de consideraciones experimentales, tales como especificaciones de diseño o ingeniería, o de obligaciones contractuales. En esta situación, el objetivo de la prueba de hipótesis es la prueba de conformidad.

IV.1.2.4. Análisis estadístico del muestreo.

Como se ha señalado en el plan de pruebas cuyo fin es encontrar, mediante la variación combinada de las características antes señaladas, la geometría mas favorable, tendremos que comenzar por suponer comportamientos antes del muestreo, para con ello, evitar repetir muestras que no tengan algún fin o se ignoren algunas por una mala interpretación, ayudándonos de los resultados obtenidos con anterioridad por el Ing. Jaime Alberto Rivero Moreno, en el trabajo de tesis presentado, se encontraron que las geometrías mas favorables son las anteriores, lo que se pretende ahora es, en principio, tener una geometría con mejores niveles de control manteniendo el mismo gasto, como parte de la hipótesis.

Suponemos que será una condición exclusiva del flujo que se tenga dentro del canal, puesto que la calibración del módulo se ve realmente influenciada por las velocidades dentro del mismo, provocando que las cargas, no ayuden en los muestreos en el módulo, obteniendo mediciones invalidas, por lo cual la compilación de los datos, será de fundamental influencia para los resultados obtenidos.

Los datos obtenidos de los ensayos que se realicen, son la representación numérica de lo ocurrido con diversos factores físicos, como lo son las distintas combinaciones geométricas y la influencia del tipo de flujo dentro del canal, que son las principales variables del objeto en estudio, por lo tanto es necesario definir la variable numérica en estudio y su representación tanto numérica como física.

IV.1.3. Importancia del análisis de variables estadísticas.

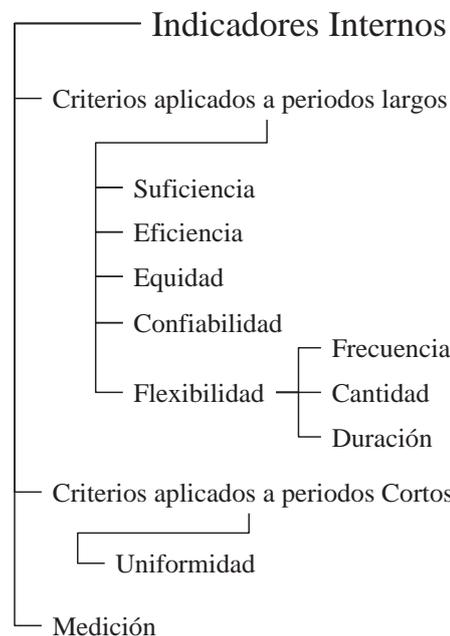
En México, hasta hace algunos años, se comenzó a incursionar en el aspecto agrícola, la introducción del mejoramiento en los sistemas de riego para la optimización de la dotación de agua para los distintos usuarios, ya que como se sabe, en la actualidad, las carencias en los distintos sistemas de abastecimiento, en especial de los sistemas superficiales, afectan de manera importante las extracciones que se hacen para los distintos usos, principalmente en los distritos de riego y en las distintas unidades de riego, los sistemas de transporte y distribución del agua en dichos distritos y unidades de riego se deben mejorar, ya que los volúmenes rescatados mediante programas de uso pleno de la infraestructura constituyen una fuente alternativa para mantener la producción agrícola y eventualmente satisfacer otros usos. En este contexto, es inevitable hablar de la eficiencia en el uso del recurso agua, integrando a ésta en varios componentes, los cuales deben considerar todas las pérdidas desde su almacenamiento, conducción y aplicación a las parcelas de los usuarios.

En muchos de los estudios realizados en México, se manejan conceptos de eficiencia en cuanto al almacenamiento del recurso, la eficiencia de la conducción y la eficiencia que se tiene durante el uso del agua para los riegos, con la finalidad de observar el buen funcionamiento, de manera general, en los sistemas. Por lo tanto, en este trabajo, se pretende contribuir en gran parte al buen manejo de los recursos que permitan un índice menor de deficiencias en la dotación de agua para los usos que finalmente se le den, que queda definido como la entrega de agua en cantidad y tiempo en sus distintas demandas y con la menor, posible, cantidad de desperdicios.

Es lógico pensar que para tener un buen resultado, los operadores de canales deben planear un programa que, junto con actividades, de cómo resultado la mejor de las infraestructuras de distribución de la mejor manera, siendo por consecuencia mucho mas eficiente; por lo tanto, la forma de evaluar estas condiciones, da lugar a la necesidad de utilizar indicadores de desempeño o índices de funcionamiento que así lo permitan, sin embargo, la aplicación de los Distritos de Riego en México, aun no ha sido tan promovida como se pretende. Además de mencionar que se ha tenido un buen progreso en la última década en sistemas de canales que los administradores han validado con indicadores, para así con esto, hacer la toma de decisiones.

IV.1.4. Indicadores de desempeño en la distribución.

Los indicadores pueden ser de dos tipos: Internos y Externos, los primeros, se enfocan al proceso hidráulico de distribución del sistema de riego, y por otro lado los externos, que son los que toman en cuenta aspectos tales como la producción agrícola o económica, el impacto ambiental, entre muchas otras. Sin embargo, por otro lado, se consideran indicadores internos también, aquellos que se basan en criterio de desempeño normal: suficiencia, eficiencia, oportunidad, y de equidad. Estos indicadores se relacionan con el método de asignación y con el método de operación del tramo y se aplican a periodos o a días. El otro tipo de indicadores se enfocan mas al método de operación de las estructuras, y se aplica a periodos menores, en orden de magnitud, a la duración del transitorio generado por movimientos en el canal, por ejemplo, minutos. En seguida se presenta una clasificación de los indicadores internos.



Clasificación general de indicadores internos de desempeño

Finalmente si entiende que la distribución eficiente del agua en los sistemas de riego, requieren de la de la evolución confiable de indicadores de desempeño, en la actualidad es común ya la estimación de de la eficiencia de conducción y distribución, sin embargo también se usan otros tales como la suficiencia, que es la medida de un déficit en la entrega, la eficiencia en la entrega, como una medida del exceso en la dotación, la confiabilidad, que es la variación temporal del error en la entrega; y la equidad, que puede interpretarse como la variación temporal del error en la entrega. En estos indicadores internos que se estiman para periodos de varios meses con intervalos diarios y aplicados a todas las derivaciones de un sistema de distribución. Así como también, se menciona un indicador que se aplica a periodos de horas con intervalos de minutos y aplicado a una sola derivación, el indicador coeficiente de uniformidad en la entrega, es el que puede estimar la variación del gasto con respecto al promedio en una derivación.

Uno de los indicadores, el índice de medición, es una propuesta original para evaluar el grado de cobertura y la precisión de la medición en sistemas de canales de riego. Indicador se basa en el error esperando (suficiencia) en que se incurre en cada tipo de medición, la magnitud del gasto que se mide con este tipo (la eficiencia en la entrega) y en el número de sitios que se miden respecto del total (la confiabilidad). Sin embargo en México el principal indicador de desempeño en la distribución es la eficiencia.

Los indicadores presentados son aplicables a las condiciones de los Distritos de Riego del país, por lo que se invita al personal encargado de la distribución del agua en canales de riego a que los apliquen y opinen sobre su factibilidad y utilidad.

IV.1.4.1. Medición.

En México, se tiene poca cobertura de medición y poca precisión. Sin embargo, no es fácil definir el nivel de cobertura y el nivel de precisión en general. En un estudio realizado por el IMTA, que consistió en la verificación de los aforos realizados en la salida de treinta presas del país, el promedio de error resultó de 12.58% y se encontraron errores máximos de más de 40%. Aunque esto no puede generalizarse directamente a los Distritos de riego si es un claro indicio de que la precisión en la medición no es la más adecuada. En cuanto a la cobertura de la medición, se sabe que se reportan gastos en todos los sitios en los que se requiere medición, sin embargo, la mayoría son estimaciones visuales sobre todo en puntos de derivación aguas abajo de los canales laterales. Por lo tanto, no debe decirse que se mide sino que se estima el gasto. Otro claro indicio de la falta de cobertura en la medición es el dato de proporciona la Comisión Nacional del Agua de la necesidad de mejora en 84 mil puntos de entrega de agua a usuarios. Los diferentes tipos de medición más usados en México son los siguientes: molinete, compuertas, vertedores, y estimación visual. Desafortunadamente no se tiene datos confiables sobre el porcentaje de uso de cada tipo y la totalización de volumen, es prácticamente inexistente.

IV.5. Variables estadísticas en estudio.

Como principales variables estadísticas del módulo, en base a los datos obtenidos por los ensayos, tenemos:

IV.5.1. Mediana.

En estadística una mediana es el valor de la variable que deja el mismo número de datos antes y después que él. De acuerdo con esta definición el conjunto de datos menores o iguales que la mediana representarán el 50% de los datos, y los que sean mayores que la mediana representarán el otro 50% del total de datos de la muestra. Un intervalo mediano será el intervalo que contiene dicho dato.

Considerando $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ los datos de una muestra ordenada en orden creciente y mediana como M_e : $M_e = x_{\frac{(n+1)}{2}}$, si n es impar $\rightarrow M_e$ será la observación central de los valores, una vez que estos han sido ordenados en orden creciente o decreciente.

$$M_e = \frac{x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1}}{2}$$

Si n es par $\rightarrow M_e$ será el promedio aritmético de las dos observaciones centrales.

Al tratar con datos agrupados, si $n/2$ coincide con el valor de una frecuencia acumulada, el valor de la mediana coincidirá con la abscisa correspondiente. Si no coincide con el valor de ninguna abscisa, se calcula a través de semejanza de triángulos en el histograma o polígono de frecuencias acumuladas, utilizando la siguiente equivalencia:

$$\frac{N_i - N_{i-1}}{a_i - a_{i-1}} = \frac{\frac{n}{2} - N_{i-1}}{p} \Rightarrow p = \frac{\frac{n}{2} - N_{i-1}}{N_i - N_{i-1}} (a_i - a_{i-1})$$

Dónde N_i y N_{i-1} son las frecuencias absolutas tales que $N_{i-1} < n/2 < N_i$, a_{i-1} y a_i son los extremos, inferior y superior, del intervalo dónde se alcanza la mediana y $M_e = a_{i-1} + p$ es la abscisa a calcular, la moda. Se observa que $(a_i - a_{i-1})$ es la amplitud de los intervalos seleccionados para el diagrama.

Para el caso la mediana será el tirante que deje, cuidado en las mediciones, el mismo número de datos antes y después de él, será un dato en un supuesto nivel en cualquier momento, como una lectura tomada en cualquier instante en su operación, pero no reflejará más que una simple lectura que señale el número de muestras obtenidas para el análisis.

Por ejemplo, sea un registro cuyas lecturas están reportadas en el siguiente orden:

Y canal (cm.)	Y vertedor (cm.)
9.80	9.20
10.30	9.40
10.60	9.70
11.00	9.90
13.50	10.40
14.00	10.60
14.30	10.90
14.50	11.00
15.00	11.20
15.50	11.40
17.00	11.50

La lectura correspondiente al valor de la mediana sería 14.00 cm. en el nivel alcanzado dentro del canal, con una carga en el vertedor de 10.60 cm., dejando así el mismo número de muestras obtenidas antes y después de esa lectura, que son el 50% antes y el 50% después de la misma, en un muestreo realizado.

IV.5.2. Media.

La media aritmética o promedio, de una cantidad finita de números, es igual a la suma de todos ellos dividida entre el número de sumandos. Es uno de los principales estadísticos muestrales.

Expresada de forma más intuitiva, podemos decir que la media (aritmética) es la cantidad total de la variable distribuida a partes iguales entre cada observación. Por ejemplo, si en una habitación hay tres personas, la media de dinero que tienen en sus bolsillos sería el resultado de tomar todo el dinero de los tres y dividirlo a partes iguales entre cada uno de ellos. Es decir, la media es una forma de resumir la información de una distribución (dinero en el bolsillo) suponiendo que cada observación (persona) tendría la misma cantidad de la variable.

También la media aritmética puede ser denominada como centro de gravedad de una distribución, el cual no es necesariamente la mitad.

Así, dados los números a_1, a_2, \dots, a_n , la media aritmética será igual a:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} = \frac{a_1 + \dots + a_n}{n}$$

Por ejemplo, suponiendo que las lecturas obtenidas en un muestreo son las siguientes: 8, 5 y -1, la media aritmética es igual a:

$$\bar{x} = \frac{8 + 5 + (-1)}{3} = 4$$

El símbolo μ (mi) es usado para la media aritmética de una población. Usamos \bar{X} , con una barra horizontal sobre el símbolo para medias de una muestra: \bar{X} .

Sean, para en el caso, de un muestreo de una prueba realizada, las lecturas siguientes:

Y _{vertedor} (cm.)	Q _{vertedor} (m ³ /s)
1.- 8.40	0.0033
2.- 8.50	0.0034
3.- 8.60	0.0035
4.- 9.69	0.0047

La media aritmética para los gastos obtenidos con las lecturas realizadas serían igual a:

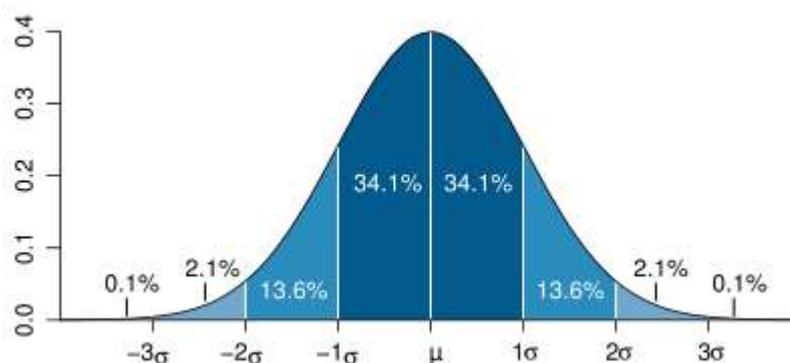
$$\bar{X} = \frac{(0.0033+0.0034+0.0035+0.0047)}{4} = .0037$$

En éste caso la media dentro del estudio, representa el gasto promedio entregado en el intervalo de tiempo proporcional al área comprendida que queda por debajo de la gráfica que compara los tiempos contra el volumen o gasto entregados, de manera proporcional sin tomar en cuenta los saltos dentro de la gráfica debidos a las variaciones dentro del canal, que se ven reflejadas en el incremento o decremento del gasto en relación al tiempo. Y también esta únicamente ligada a los niveles de operación del módulo cuando el control comienza a ser regulado por una de las mascarar, dejando comprendido en este rango el gasto medio que finalmente sería factible que estuviera bastante cercano al gasto nominal del módulo.

IV.5.3. Desviación Estándar.

La desviación estándar (o desviación típica) es una medida de dispersión para variables de razón (ratio o cociente) y de intervalo, de gran utilidad en la estadística descriptiva. Es una medida (cuadrática) que informa de la media de distancias que tienen los datos respecto de su media aritmética, expresada en las mismas unidades que la variable.

Por ejemplo, sea μ la media aritmética de un determinado muestreo, de acuerdo con la siguiente gráfica la desviación estándar estaría comprendida en los intervalos de las franjas sombreadas de la gráfica, dejando limitados los datos que son más representativos del muestreo.



Para conocer con detalle un conjunto de datos, no basta con conocer las medidas de tendencia central, sino que necesitamos conocer también la desviación que representan los datos en su distribución respecto de la media aritmética de dicha distribución, con objeto de tener una visión de los mismos más acorde con la realidad a la hora de describirlos e interpretarlos para la toma de decisiones.

Ese es el rango de variación o proximidad del módulo, donde por diversos factores ya mencionados antes, se aleja o aproxima una lectura o muestreo a los datos favorables, siendo próximos a su promedio, teniendo como dato ideal la media, que nuevamente es el dato más representativo del modelo en estudio.

Las variaciones que permiten que la desviación estándar se amplíe o se reduzca, quedaran limitadas exclusivamente a la compilación de datos, ya que de ser menores los rangos de lecturas en los que se midan, ésta quedará mas exacta y no permite mucha variación en los rangos en que se desea que opere el módulo, siendo con ello, mas estricta con los datos y obteniendo así una representación matemática mas favorable para el análisis de variables geométricas.

IV.5.4. Gasto máximo.

Como un volumen extraordinario de las condiciones en las que opere el modulo, será un gasto Máximo, que comparado con el gasto nominal, no sea tan excesiva la diferencia de lo que se pretende entregar idealmente contra lo que se entrega por condiciones imprevistas, así como también esta relacionado con el nivel máximo en el que puede operar en condiciones nominales.

IV.5.5. Gasto nominal.

Es el volumen en tiempo que combina todos los factores antes mencionados y pretende ser, junto con el sistema completo, el gasto ideal que no permita variación alguna con la demanda deseada, es decir, que no descargue mas ni menos de lo que se desea, simplemente el gasto requerido, y coincide cuando el nivel de agua, dentro de la primer mascara o bafle, queda justamente en la mitad donde hace el ángulo, por consiguiente esta lectura será de fundamental

importancia para determinar la posición de la máscara en el módulo así como su apertura.

IV.5.6. Gasto Mínimo.

Cuando los niveles dentro del canal, son bajos, es obvio que la descarga no será la deseada, ya que el módulo no tiene la suficiente carga como para poder operar, mas sin embargo, se requiere de un gasto que cuando menos en un determinado tiempo, nuevamente cumpla con la demanda requerida, por lo cual, la lectura mínima para que el módulo comience a funcionar como es requerido, será necesario cuando menos establecer un nivel mínimo de operación que garantice que el módulo controlaría el excedente a partir de ese punto, pero que no puede funcionar en caso contrario.

IV.5.7. Nivel Máximo.

Cota Máxima alcanzada dentro del canal, que da salida al gasto máximo sin que el agua derrame por encima del módulo, proporcionando un gasto fuera del rango de operación de hasta el ciento diez por ciento del gasto nominal, su ubicación estará determinada por la cota del nivel de operación mínimo, por lo cual queda sujeto completamente a volúmenes extraordinarios y, en algunos casos, la instalación inadecuada del módulo.

IV.5.8. Nivel nominal.

Es la cota que queda comprendida justo en medio del baffle o máscara al interior del módulo, este nivel, es justo el que combina todos los factores favorables para que el módulo de la entrega requerida sin problema alguno, siendo éste nivel el que de el gasto nominal sin variación alguna, regulando su descarga únicamente con el tirante del canal y el ángulo factible de la misma máscara.

IV.5.9. Nivel mínimo.

Sin duda alguna sabemos que el módulo requiere de una carga mínima de operación que de lugar a que éste funcione, el nivel mínimo inicialmente sería la carga mínima requerida en el canal, para que, en combinación con la ubicación del escalón, la descarga sea de cuando menos un noventa por ciento del gasto ideal y que a partir de éste punto, permita incrementos pequeños sin alterar en mucho las descargas.

V. INSTALACIÓN EXPERIMENTAL.

Para la realización del estudio se cuenta con las instalaciones necesarias en el Laboratorio de Hidráulica “Ing. David Hernández Huéramo” de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. La entrega del gasto está resuelta de sobra por el equipo de bombeo del laboratorio, pues el gasto máximo necesario es de unos 20 l/s solamente para el módulo a probar (aquacontrol tipo XX₂).

El agua que se utiliza dentro de todo el laboratorio, se encuentra captada por canales de retorno que la reciclan en su totalidad, se encuentra almacenada en una cisterna, de donde se extrae con el equipo de bombeo que lleva el líquido a un tanque elevando de carga constante, de aquí, a través de tuberías, es distribuido a los distintos canales y modelos que se encuentran dentro del laboratorio.



Sistema de bombeo

Dentro de las instalaciones, se cuenta con un sistema de canales, canal de Rehbock o “canal de retorno”, en el cual hacen sus descargas todos los modelos, la función de éste sistema de canales interconectados, es la de llevar toda el agua a la cisterna antes mencionada, ayudando así a no desperdiciar el agua y aprovecharla una y otra vez dentro del laboratorio.

V.1. Equipo requerido.

V.1.1. Canal de Rehbock.

El canal Rehbock, instalado en el laboratorio, cuya geometría rectangular tiene el ancho de 0.5m, una longitud total de 14.75m, de los cuales 10.80m cuentan con paredes laterales de acrílico a lo largo de, prácticamente, toda su longitud, siendo posible visualizar los fenómenos en estudio, los 3.30m restantes de pared lateral están hechos de tabique con aplanado fino. El fondo del canal es de concreto pulido con pendiente $S_f = 0.0001$. Cuenta con dos módulos instalados gracias a la fase inicial de este estudio, dado que la altura de las paredes dan las medidas necesarias para dejar empotrados al canal dos módulos de altura 0.90m uno de ellos con la geometría original del módulo (o módulo de "control") y otro con la geometría resultante de la búsqueda de condiciones óptimas en la entrega del gasto. (Fotografía V-1)



Fotografía V-1. Canal con el módulo instalado.

Los módulos cuentan con paredes de acrílico transparente y se empleará un trazador de tinta –azul de metileno para este caso- para observar el funcionamiento del módulo y la influencia de las modificaciones propuestas en cada prueba al flujo.

El sistema de alimentación consiste en una tubería de acero de 8" de diámetro, equipada con una válvula de seccionamiento de tipo compuerta. Dicho canal cuenta con dos estructuras llamadas distribuidores de velocidad (estabilizadores de flujo), las cuales consisten en un marco hecho de ángulo de hierro forrado con malla de entramado fino, dicho marco está relleno de material cuya granulometría rebasa las 2" de diámetro.

La compuerta vertical, cuya función será la de regular el flujo y a su vez alterarlo para algunas de las pruebas, ya que por lo antes estudiado, la influencia de la descarga si esta directamente ligada con el flujo que se tenga

dentro del canal, ya que depende no solo de la carga sino también de las velocidades que se tengan en él para tener la certeza de que los gastos obtenidos sean los deseados.

Originalmente este canal cuenta con una compuerta abatible o compuerta tipo Charlena al final de este. Sin embargo, con los resultados antes obtenidos, para el mejor funcionamiento del canal en las pruebas referentes a este estudio, se requirió de algunas modificaciones tanto en el canal como en esta compuerta, además de la ayuda de un vertedor de pared delgada externo a dicho canal, dichas modificaciones y adecuaciones se analizarán más adelante.

V.1.2. Compuerta deslizante

La compuerta vertical deslizante, cuya función será la de regular el flujo y a su vez alterarlo para algunas de las pruebas, ya que por lo antes estudiado, la influencia de la descarga si esta directamente ligada con el flujo que se tenga dentro del canal, ya que depende no solo de la carga sino también de las velocidades que se tengan en él para tener la certeza de que los gastos obtenidos sean los deseados.

Para controlar el nivel en el interior del canal de Rehbock se propone la entrega de un gasto máximo al canal y después, variar la elevación en el mismo mediante la colocación de una compuerta aguas debajo de los módulos.

Se encontró en una primera prueba que el funcionamiento es insuficiente, ya que los niveles alcanzados dentro del canal, resultan muy bajos y no permiten tener un rango de datos más amplio para los ensayos posteriores, y el gasto controlado por el módulo queda limitado (para el tipo XX_2 instalado, de aproximadamente 17 l/s).

Por lo cual, se recurre a utilizar una compuerta del ancho original instalada ya en el canal y variar su apertura para controlar los niveles deseados, ello resulta más conveniente en la práctica (*Fotografía V-2*).



Fotografía V-2. Compuerta Deslizante

En los estudios anteriormente realizados, se encontró que no es recomendable colocar una compuerta directamente a la entrada del módulo ya que modifica las condiciones de entrega, al permitir cargas distintas en el canal y en el interior del dispositivo, por lo que la velocidad es más elevada en la entrega, o bien según las condiciones y dado el funcionamiento de control, anula la compuerta por igualación de niveles en el módulo y en el canal.

Finalmente, se encontró que la mejor opción de control de niveles junto con la compuerta deslizante es, utilizar la válvula de alimentación del canal para aumentar el gasto en el canal y mantener un control del flujo dentro del canal (*Fotografía V-3*).



Fotografía V-3. Válvula de Seccionamiento

V.1.3. Vertedor de pared delgada

El gasto entregado será medido por un vertedor de cresta triangular construido ex profeso, mismo que fue calibrado antes de su utilización por medio de un aforo volumétrico. El vertedor es desmontable (Ver *Plano 2-B*) para permitir su desplazamiento y reubicación (Fotografía V-4).



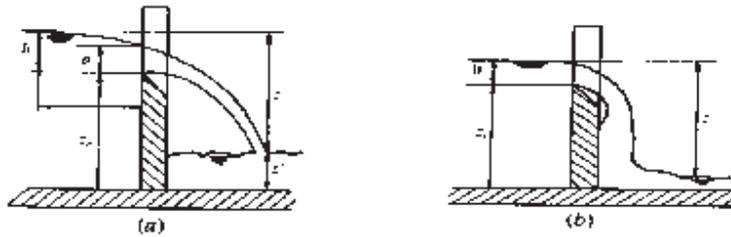
Fotografía V-4. Vertedor Triangular de pared delgada

El vertedor de pared delgada tiene la función de medir el gasto que se deriva por el módulo en estudio. Por tal motivo se hizo necesario nuevamente hacer uso de él, se procedió a calibrarlo, y para esto se utilizó el procedimiento de

medición volumétrica del gasto, para así obtener una curva de calibración, gasto – carga sobre el vertedor y compararla con los datos anteriormente obtenidos. De esta forma, el vertedor podrá ser utilizado con solo medir el tirante o carga sobre la cresta del vertedor y sustituir este en la ecuación de dicha curva.

V.2. Calibración

Dentro de las estructuras aforadoras, los vertedores de pared delgada se utilizan, como se sabe, para medir caudales. En los vertedores rectangulares, sobre todo en los vertedores sin contracción lateral, la exactitud de la medición solamente se puede garantizar si el vertedor está bien ventilado.



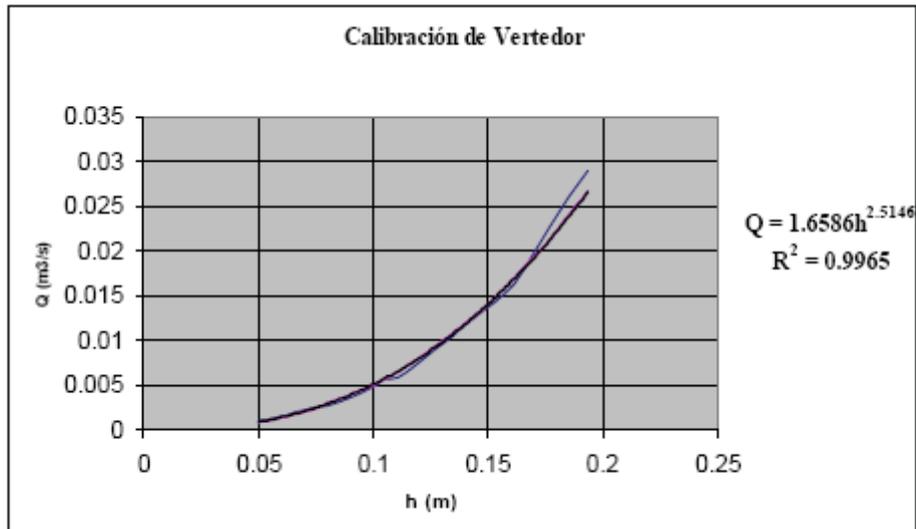
Lamina a **Vertedor ventilado**

Lamina b **Vertedor no ventilado**

La ventilación, representada en la *Lámina a*, tiene el objeto de introducir aire debajo de la lámina de agua. Se puede observar que el vertedor está suficientemente *ventilado* gracias a que la cresta de la pared está bien afilada. En la *Lámina b* se representa el mismo vertedor *no ventilado*. El agua arrastra el aire que se encuentra debajo de la lámina aguas abajo del vertedor. Allí se crea una succión. La lamina baja y el caudal aumenta, o bien, el caudal se mantiene constante y h disminuye.

Por lo tanto, la exactitud de la medida del caudal exige que la vena líquida aguas debajo de la cresta del vertedor esté bien ventilada.

Después de analizar las consideraciones que se deben cuidar para que un vertedor funcione eficientemente, sobre todo para medición de gasto en el caso del de pared delgada, se procedió a realizar el aforo volumétrico de éste. Para dicho procedimiento se utilizó una válvula con la que cuenta el laboratorio y un depósito, en el cual se mediría el volumen vertido en un tiempo, para después construir la curva de calibración para dicho vertedor, con la cual ya se cuenta gracias a la primera fase de estudio del módulo (Curva de Calibración)



V.2.1. Calibración del módulo de sección comercial.

Con base al objetivo, que es visualizar el comportamiento del flujo en el interior del módulo, la presencia de las paredes de acrílico transparente son de gran ayuda. Estas están colocadas en solo un lado de cada módulo construido; uno fijo con las características y configuración original; y el otro con las mismas dimensiones en el caso de las paredes que lo forman, pero al interior las máscaras no tienen una posición definitiva, permitiendo el arreglo diverso de las mismas para el estudio junto con el escalón, tal como se verá posteriormente.

Para la reproducción del módulo Aquacontrol de sección comercial, se hizo uso de un módulo ya fabricado de clasificación XX_2 para un gasto nominal de 17 l/s aproximadamente, que pertenece al Laboratorio de Hidráulica.

Esta reproducción ya existente, está hecha de lámina de acero moldeada en las partes que requieren de curvaturas, tal es el caso de las máscaras y el escalón tipo cimacio. De esta manera, se hizo posible verificar las dimensiones de los módulos que se fabrican para uso comercial para así reproducir una copia con las características requeridas para el estudio del módulo original.

El gasto entregado será medido por un vertedor de cresta triangular construido ex profeso, mismo que fue calibrado antes de su utilización por medio de un aforo volumétrico.

Cada módulo cuenta con una compuerta a la entrada del mismo que sirve para aislarlo durante las maniobras en el canal, de tal manera que permite el funcionamiento aislado del módulo de control y del módulo de pruebas.

V.2.2. Fabricación de módulo para propuestas de modificación a la sección comercial

En cuanto a las máscaras, el ángulo de intersección, se ve afectado por el funcionamiento del módulo que depende mayormente de la fuerza que resistirán. Un cálculo rápido de la presión máxima (yz, para la altura máxima de funcionamiento del módulo) y del área que presenta cada máscara define una fuerza máxima de unos 2 Kg., misma que debe ser resistida por el material y por el soporte.

La fuerza dinámica que es soportada por la geometría del módulo y las condiciones de gasto nominal resulta ser menor, así que se decide que las máscaras serán de material ligero y fácil de trabajar para darle la forma necesaria, sin embargo, dado que la presión resulta no ser tan fuerte, debido a material flotante que en la mayor parte de los casos suele transportarse en los canales, es necesario hacer uso de materiales que sean resistentes a los impactos que puedan ser provocados por las velocidades que alcancen a la entrada del dispositivo. Por lo cual, en se usó acrílico siendo exclusivamente este material para usos experimentales, sin embargo, la mejor opción para la fabricación moldeado es, usar solera de 1/8"x 4" de ancho. De tal forma que la modificación en el ancho nominal de la solera sería mínima, para que diera justamente el ancho de las máscaras. En este caso, como el ancho que se requería fue el de 10cm únicamente se facilitó su construcción.

En varios de los ensayos fue usada la solera como parte tal del dispositivo, sin embargo para lograr diferentes ángulos, fue necesaria la utilización de acrílico pegado incluso con tela adhesiva, lo cual, una vez más, demuestra que el uso de materiales para la fabricación simplemente depende del transporte de material flotante que pueda dañar el módulo y pierda su geometría.

Ya resuelto el problema de los ángulos de cada una de las máscaras que se planea usar, se hizo uso de un escalón ya antes probado que demostró tener un buen comportamiento en comparación a las geometrías usadas con anterioridad, de manera similar las máscaras, serían desmontables y se adaptarían a la geometría y configuración requeridas para cada prueba.

La instalación de las mascararas es practicante fue sencilla, se colocan en la posición y se sujetan con pegamento epóxico y se sellan con silicón y la ayuda de la tela adhesiva (por practicidad), las orillas en contacto con las paredes del módulo. Después de un par de pruebas, se encuentra que el funcionamiento es aceptable y que no hay desplazamientos de las máscaras en la práctica.

Finalmente, cada módulo contará con una compuerta a la entrada del mismo que sirva para aislarlo durante las maniobras en el canal, como recuperación del nivel original y mantenimiento, etc., y también servirá para permitir el funcionamiento aislado del módulo de control y del módulo de pruebas.

V.3. Técnica de visualización de flujo empleada

V.3.1. Visualización de las líneas de corriente

Una de las principales prioridades es la de conocer el comportamiento del flujo en el interior del módulo, el cual es prácticamente impredecible en la hipótesis del objeto en estudio, por lo tanto, la utilización de paredes de acrílico transparente y el uso de un trazador –azul de metileno-, permiten corroborar, aún cuando es de forma puramente visual, el funcionamiento bajo el cual la literatura presenta al módulo, y ver los nuevos comportamientos al alterar las geometrías.

La incorporación del sistema de inyección de tinta, que consta de un depósito y un conducto plástico al cual se le coloca una aguja para la descarga del azul de metileno, fue construida y adecuada en un soporte metálico que permite el movimiento general y particular de la aguja mediante rieles con sujetadores de tornillo. El soporte es colocado transversalmente sobre el canal Rehbock a la distancia requerida para que quede justo a la entrada del módulo. La aguja fue sujeta en el extremo inferior a una varilla lisa la cual se mueve verticalmente, permitiendo así que la aguja quede a la altura que se requiere para la inyección de tinta y por lo tanto su visualización. (*Fotografía V-5*)



Fotografía V-5. Trazador de tinta

V.4. Muestreo y obtención de datos experimentales

V.4.1. Muestreo y visualización del flujo

Con los módulos aforadores ya instalados junto con los dispositivos de visualización y medición de flujo, se comienzan a realizar las pruebas preliminares para poder determinar el mejor procedimiento a utilizar para la obtención de los datos.

Los muestreos que se realizaron en cada prueba fueron únicamente de los gastos extraídos y medidos en el vertedor y de los niveles sobre la cresta del escalón, que se ubica dentro del módulo. Para su realización colocó, en una de las paredes de acrílico del canal Rehbock, una regla numerada a cada centímetro y graduada a cada milímetro para obtener el tirante dentro del canal.

Cada uno de los muestreos realizados, las lecturas fueron tomadas de la siguiente manera: de forma simultánea, cuidando únicamente que el flujo se estabilizara en el vertedor, se observaba la variación del nivel en el canal a cada medio centímetro y después se tomaba la lectura en la regla graduada instalada en el vertedor. De cada uno de los ensayos realizados, se obtuvo un registro, con notas y observaciones en el comportamiento del flujo.

Las lecturas del nivel de la superficie libre del agua dentro del canal, se tomaron tomando como cota cero, el nivel que coincide cuando la superficie del agua alcanza el nivel de la cresta del escalón en el módulo, dejando así referenciados los niveles por arriba de éste, los que se obtengan dentro del módulo. De éste nivel hasta los 45 cm. sobre la cresta del escalón.

Una vez obtenidas las lecturas, tanto en el vertedor y en el canal, se construyeron las graficas *Nivel sobre la cresta del escalón / Gasto*, para verificar la eficiencia en el control del gasto que pasa a través de módulo. Se entiende que estas mediciones se hicieron para cada cambio en la configuración original del módulo que se desea en el plan de pruebas, dejando así, consignados los resultados que en comparación con las pruebas entre sí, llegarán a determinar de manera, ahora ya, numérica la mejor de las configuraciones geométricas que combinen las variables demandadas por el módulo y lo hagan más eficiente.

V.4.1. Prueba preliminar.

Una de las causas principales por las que es necesario hacer una prueba preliminar, es la necesidad de observar las variaciones que presenta el canal, además de verificar si realmente se podía obtener una visualización adecuada en cuanto al movimiento del trazador empleado con azul de metileno dentro del módulo aquacontrol. Como se ha mencionado con anterioridad, la utilización de la compuerta aguas abajo del módulo para regulación del tirante en el canal, ya que para poder observar los rangos de variación es necesario realizar las

gráficas para el estudio, y se debe variar el tirante en el canal de manera minuciosa y gradual.

Para lograr la variación, se dejó la compuerta aguas abajo del módulo con una apertura regular de 4.5cm. sin embargo, durante las primeras pruebas, el uso exclusivo de la compuerta fue inadecuado, debido a que la sección hidráulica u orificio que al abrir la compuerta era demasiado grande para controlar el nivel, ya que llegaba a tener el ancho del canal mismo, esto provocaba que el gasto fuera grande al pasar por este y las variaciones en el nivel de la superficie libre del agua en el canal variaran de manera brusca sin poder llegar a efectuar un buen control en el canal; siendo así entonces, las pruebas requerían de un control adecuado del gasto dentro del canal, por lo cual el uso de la válvula seccionadora del modelo, fue de indispensable ayuda para regular el gasto dentro del canal de manera gradual.

Para poder remediar este problema, se procedió a hacer las adecuaciones respectivas a la compuerta, da tal forma que la sección del orificio al abrirla fuera de menor dimensión, así el gasto que se derivaría por este sería menor. De esta forma se llegó a controlar el nivel en el canal de una mejor manera, para ciertas partes de las pruebas, sin embargo, para las pruebas donde se requería que el nivel en el canal subiera constantemente se hizo uso de la válvula de seccionamiento.

V.4.3. Descripción de las gráficas

Cada Muestreo está representado en una gráfica, que consta de tres partes:

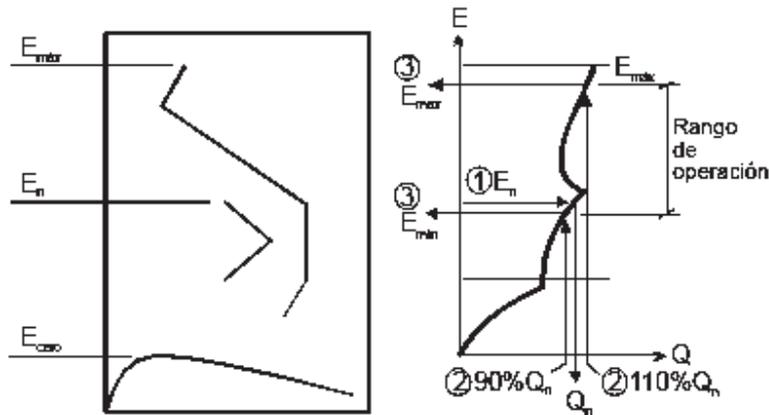
1. *Fotografía*. De forma visual, muestra la configuración de la prueba ejecutada que se realizó, junto con los datos obtenidos de la misma.

2. *Gráfica de comportamiento*. Es la representación gráfica que muestra las distintas etapas de la prueba mediante la correlación del gasto entregado por el módulo contra la altura del tirante de agua sobre la cresta del cimacio.

3. *Datos de gasto / elevación*. En la mayoría de los gráficos se muestra tan sólo la tabla de gastos, indicando las elevaciones sólo en las pruebas más significativas. En esta tabla se indican dos tipos de operación:

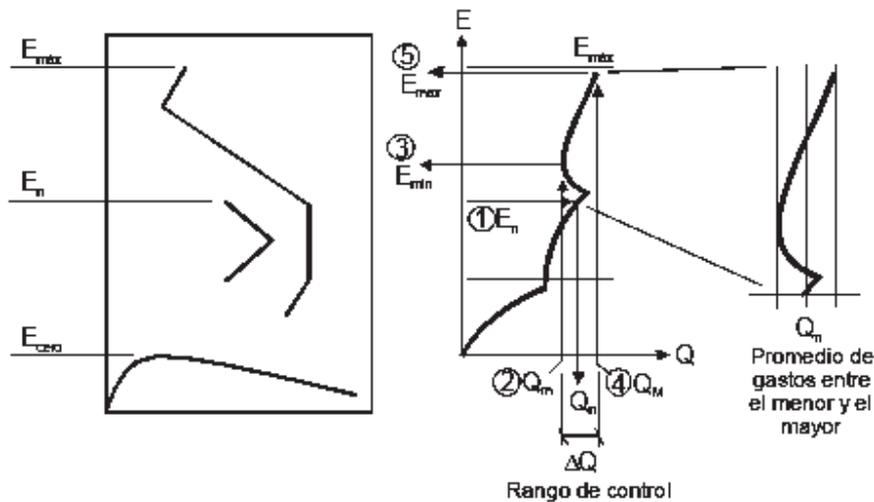
a) *Gasto nominal y rango de operación teórico*. En ella se recoge un gasto nominal (Q_n) correspondiente al entregado por el módulo cuando la elevación del agua alcanza la elevación mayor de la primera máscara (24 cm. para el caso). A partir de este valor, se supone que de forma ideal el sistema permite una variación de $\pm 10\%$, lo cual define el gasto $90\%Q_n$ y $110\%Q_n$, que a su vez significan 2 elevaciones, inferior y superior al nivel nominal, representando así

el rango de operación del módulo. Estos valores se recogen, como se mencionó, en la tabla de las pruebas más significativas.



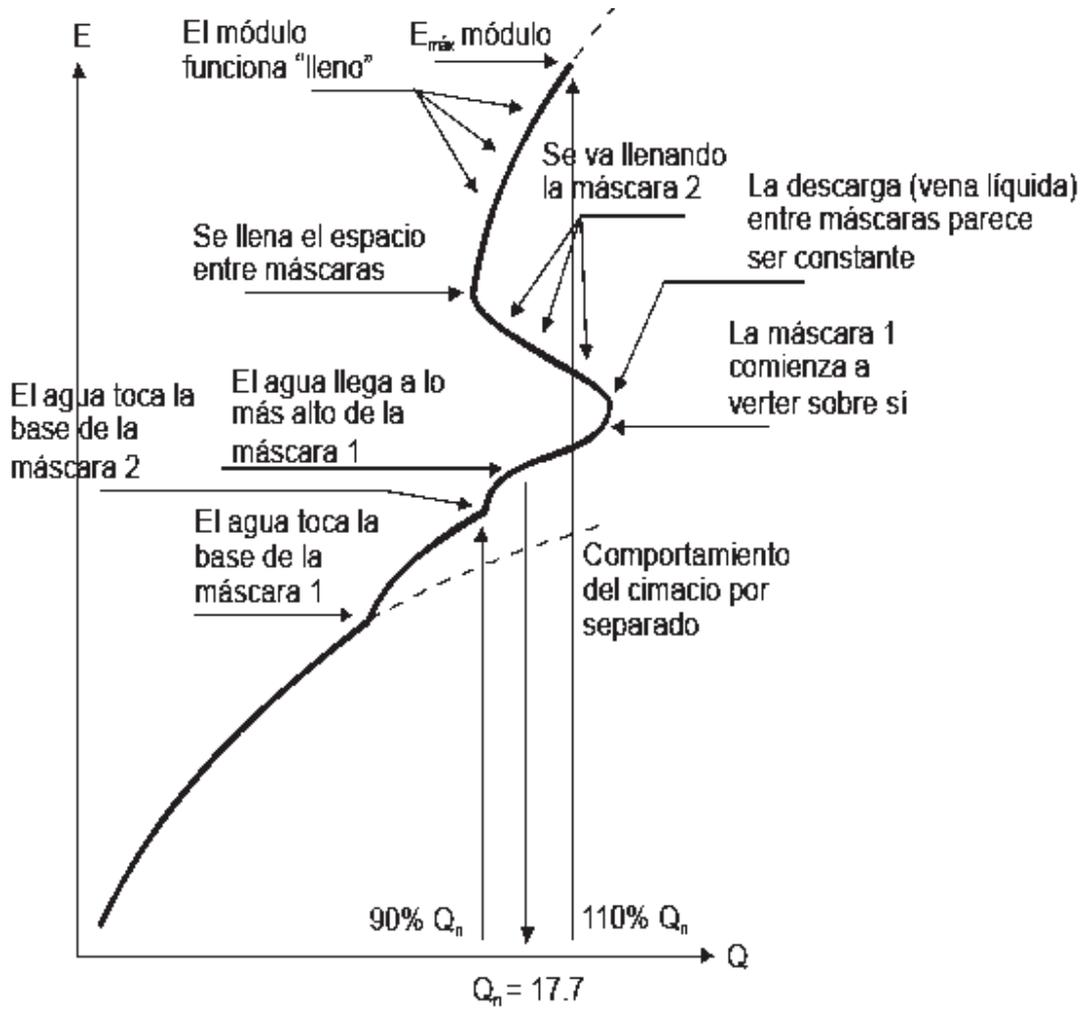
b) *Gasto promedio y rango de operación calculado.* Se define un nuevo gasto como el promedio aritmético de los gastos entregados por el módulo desde el nivel nominal hasta el nivel máximo de operación (que suele ser variable, debido a las condiciones de vorticidad y turbulencia alcanzados por la configuración particular de las máscaras y cimacio). Puede esperarse que este gasto represente de forma más adecuada las condiciones de entrega al usuario final, puesto que suele ser complicado asegurar un nivel constante en el canal principal. Por este mismo método, se define el gasto mínimo (Q_m) como el menor de los gastos entregados sobre el nivel nominal y por ende, el gasto máximo (Q_M) como el gasto mayor entregado por el módulo. Estos dos gastos definen un rango de entrega de gastos (ΔQ), de forma tal que cuando esta cantidad es mínima, se tendrá la menor variación en la entrega asegurando así un funcionamiento eficiente. Cabe mencionar que éste último es el criterio empleado para definir la configuración de mayor eficiencia.

Es importante dejar claro que este último gasto es válido para condiciones de flujo en las cuales el nivel se encuentra variando de forma continua entre el nominal y el máximo, es decir, si se regula y se mantiene a una altura conocida, el gasto es el que directamente se lee en la curva de comportamiento y es por ello que el rango de variación ΔQ es importante: entre menor sea, menor es la posibilidad de entregar un volumen mayor al asignado al usuario (gasto por tiempo)



Del gráfico de comportamiento puede decirse que, aún cuando es posible definir la curva característica de cada una de las partes (máscaras y cimacio) por separado, al trabajar en conjunto resulta en algo demasiado complejo para ser descrito mediante la modelación matemática de una ecuación debido al comportamiento interdependiente de los elementos, sin embargo, se observaron las siguientes zonas, para la configuración preconstruida del módulo, que dejan reflejada la influencia de las variables requeridas éste nuevo estudio, y así poder determinar de manera semiempírica las configuraciones geométricas que ayuden a la mejor de las interpretaciones matemáticas observando solo el comportamiento de las variables involucradas.

Dentro de los datos obtenidos en los diferentes ensayos, es indispensable anotar el comportamiento de los fenómenos que ocurren en la realización del ensayo, ya que estos son una de las variables que se desea analizar y que no se ve reflejado en los datos obtenidos de los ensayos, por eso es recomendable hacer notas en los registros que permitan hacer nuevas modificaciones en el módulo para estudiarlo de manera particular y poder encontrar una relación numérica con los niveles obtenidos, asociándolo en un momento dado, a alguna de las condiciones de flujo o de la configuración entre mascarar.



VI. MEDICIÓN Y PRUEBAS DE CALIBRACIÓN, CON VARIACIÓN EN EL FLUJO Y OTROS FACTORES.

VI.1. Medición.

Las pruebas a ejecutar, como se vio en el capítulo cuatro del trabajo, son apegadas al arreglo que se desea y pretende mejorar, las mediciones deben de ser cuidadosas en el aspecto de la frecuencia con la que se tomen los datos, además de tener especial atención en los niveles que alcanza el canal, ya que muchas de las veces, y basados en las notas de trabajos anteriores, la respuesta de los gastos dentro del canal no son inmediatas con respecto a las obtenidas en el vertedor, lo cual torna un poco mas tardado el muestreo para distintos gastos, que finalmente son únicamente la simulación de los diversos tirantes dentro del canal, lo que se requiere es observar si con ellos, los niveles de control deseados pueden ser mas prolongados en cuanto a los rangos de operación.

Otro de los aspectos fundamentales en el muestreo, es claro y visible que necesitamos de la observación, la realización de notas hidráulicas que describan fenómenos ocurridos en los ensayos, dejan paso a nuevas alternativas en la modificación de la geometría para los fines que se buscan, o simplemente el comportamiento visual puede ser comparado con los resultados matemáticos e identificar de manera numérica la influencia de un factor físico que pueda alterar los resultados en los muestreos.

VI.2. Calibración del equipo para pruebas.

La calibración como parte fundamental de las pruebas es indispensable para evaluar el buen funcionamiento de los dispositivos auxiliares que tiene gran participación con las pruebas, por lo que la calibración de los mismos es tan importante como los resultados, ya que de esto depende la confiabilidad de ellos para su posterior análisis.

En el capítulo cinco, se hace énfasis en el uso particular del vertedor triangular de pared delgada, que es uno de los muchos dispositivos que existen para aforar, éste sin duda alguna es uno de los principales elementos con los que se trabajo en el desarrollo del plan de pruebas, por lo tanto, los requerimientos al calibrar su eficiencia, tanto física como matemática, contribuyen a uno de los aspectos a evaluar en la medición y obtención de datos, la confiabilidad que se tiene al tomar las lecturas de cada ensaye son el reflejo del manejo adecuado y la capacitación requerida del buen uso del equipo para la obtención de los mismos.

Por otra parte, los ensayos fueron, en primera instancia, realizados de manera simplemente visual para observar irregularidades en el comportamiento de los elementos que conforman el dispositivo, con la finalidad de encontrar fugas, factores que intervenían de manera adicional al buen funcionamiento del módulo, como lo fueron las aperturas en la compuerta, que posteriormente se describirá en uno de los apartados; detalles hidrodinámicos que afectaban la

posición del arreglo geométrico de las mascararas dentro del módulo, así como también los niveles de control máximos que se podían obtener con los acomodos de los escalones en las pruebas.

VI.3. Visualización.

Dentro del plan de pruebas, con el objeto de mejorar el funcionamiento de las mascararas dentro del módulo, uno de los puntos fundamentales en el análisis, es el de observar detenidamente las trayectorias seguidas por el agua en los diferentes arreglos geométricos, buscando una asociación que permita que la vena se contraiga mucho mas de lo que se requiere, en los casos que así se desea, como por ejemplo aquellos niveles donde el control se torne difícil de mantener, así como también en los que la vena tenga tanta contracción que no permita obtener siquiera el volumen mínimo demandado.

La utilidad de recurrir a un trazador visual de flujo, atiende por consiguiente a la relación que existe entre los espacios generados dentro de las mascararas, con esto es posible identificar un problema geométrico en el funcionamiento del módulo, así como también nos da paso a verificar que el flujo a la entrada del canales también uno de los principales factores que intervienen de manera indirecta en el comportamiento del dispositivo.

VI.4. Variación del flujo y otros factores.

Es notable en la primera fase del desarrollo del plan de pruebas, que la influencia en las velocidades dentro del canal, junto con los niveles que se alcanzan en el mismo, son de importancia ligada al desempeño del módulo y sus variables contenidas, como lo son los niveles nominales, mínimos y máximos en los que este opera, sin embargo, en las pruebas realizadas se nota que los niveles de control se ven afectados por los flujos que se tienen en la entrada al módulo, es evidente que al operar con grandes velocidades la respuesta dentro del módulo no es la misma que cuando el flujo es estable, sin embargo, las pruebas como simple comparación de las condiciones distintas que se pueden tener en el flujo del canal, fueron comparativas y analizadas, por lo que se procedió a trabajar siempre en una condición de velocidades medias que dieron la apertura adecuada de la compuerta al final del canal, un flujo que permitiera que con la apertura de la válvula de seccionamiento, los niveles dentro del canal, pudieran ser controlados simplemente con el control de la misma, dejando rangos pequeños de variación para hacer un análisis mas detallado de cada arreglo geométrico.

Otro de los factores en lo que se considero que podían intervenir en el desempeño del módulo, irónicamente es el uso de materiales distintos a los originales con que opera el módulo en campo, el empleo de acrílico para una de las mascararas, fue comparado con los resultados obtenidos con el material original, la placa de acero doblada, y se encontró con que el funcionamiento que tenía con el empleo de este material, no quedaba muy distante de los resultados obtenidos anteriormente con el uso de materiales ya probados, lo cual facilito una de las fases del plan de pruebas que consiste en la apertura de

la máscara, es obvio que la practicidad de usar dos placas de acrílico en esta etapa simplificó de manera importante el ahorro de tiempos en cuestión de los arreglos que se tenían que hacer para las diferentes pruebas.

VI.5. Obtención de índices en los ensayos

Dentro del desarrollo de cada uno de los ensayos mostrados en los siguientes resultados, existen varios factores que tienen que ver con los niveles de operación en los que trabaja el módulo, de aquí parte mucho el estudio de las diferentes combinaciones de las geometrías más factibles para encontrar la que combine, posiblemente, las tres variables en estudio, por lo que es necesario saber de donde se obtiene cada dato y que representa en la prueba.

Índices Obtenidos: Cada prueba contiene la serie de variables a estudiar, los resultados obtenidos de cada ensayo están ligados al arreglo geométrico del plan de pruebas, en el caso de los niveles, ya se cuenta con una regleta dentro del canal que refleja las cargas sobre el nivel del escalón, para el caso de los gastos, son medidos por el vertedor y queda únicamente registrado el valor numérico del mismo que circulaba en el momento del ensayo.

Mediana: Resulta del promedio de gastos obtenidos a partir del funcionamiento completo del módulo, dejando en claro que solamente los datos tomados para la medición de esta variable, son únicamente aquellos que fueron obtenidos a partir del nivel que toca la parte baja de la máscara 2 en adelante, es decir hasta su carga máxima.

Media: En los muestreos se recopilan bastantes datos, mismos que sirven para la construcción de las gráficas, sin embargo, uno de tantos coincide con el valor medio que deja la misma cantidad de datos antes y después de su registro.

Desviación estándar: Dentro del análisis de datos, la obtención de este parámetro que comprende únicamente los datos que quedan registrados a partir del momento donde el nivel de agua toca la parte inferior del bafle 2 hasta la carga máxima sobre el escalón, es el rango de variación que pueden tener los datos registrados que hacen tangible la prueba, es decir, este valor es la aceptación o el grado de error que pueden tener los datos registrados para que sean tomados en cuenta para su análisis, dejando

Q máximo: Es el gasto asociado a la carga máxima del módulo, éste no siempre será el gasto, volumetricamente hablando, más grande, sino que es el correspondiente a la carga máxima soportada por el escalón en el desarrollo del ensayo.

Q nominal: Gasto entregado por el módulo cuando el nivel del agua, referenciado a la altura del escalón, quede justamente en la intersección del ángulo del doblez de la máscara 2.

Q mínimo: La entrega del gasto mínimo del módulo cuando éste apenas comienza a funcionar.

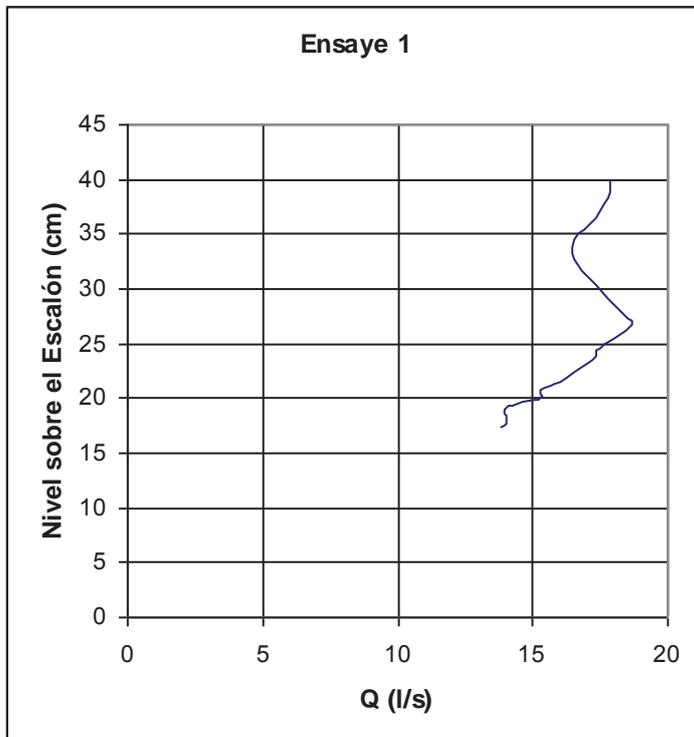
Nivel Qmax: Cota que arroja el gasto máximo en la prueba, es la carga máxima que soporta el módulo sin dejar que vierta por encima del bafle 1

Nivel Qnom: Nivel que coincide con la descarga del gasto nominal

Nivel Qmin: Cota que descarga el gasto mínimo del módulo cuando el módulo comienza a trabajar.

VI.6. Resultados.

Los primeros ensayos fueron realizados con la geometría original modificando la posición de las mascararas, y mantenido el nivel de la apertura en la compuerta deslizante aguas abajo constante.

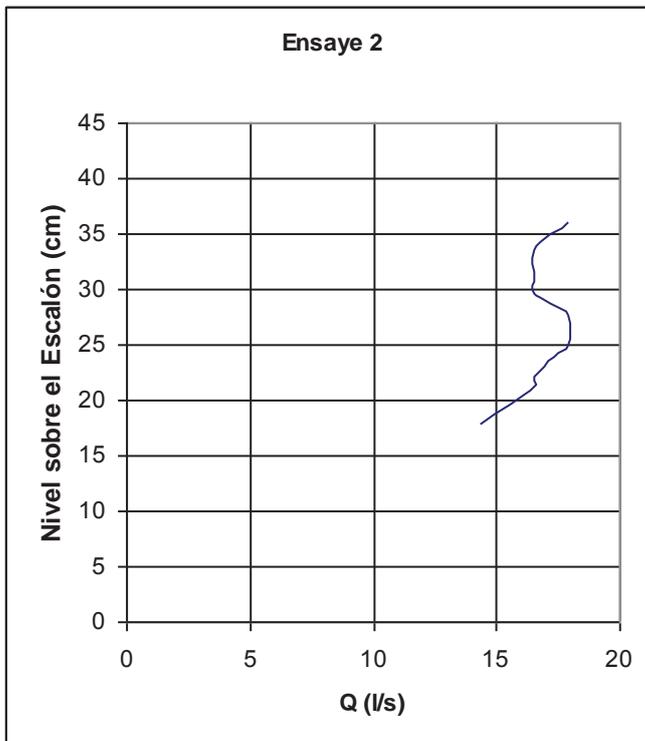
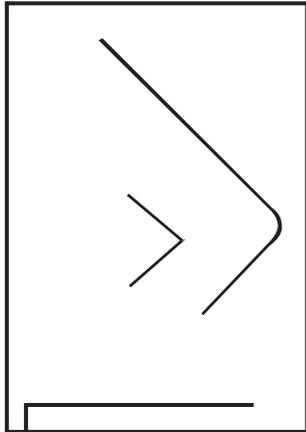


Índices Obtenidos:

- Mediana:** 17.33 l/s
- Media:** 17.09 l/s
- Desv. Estándar:** 1.19 l/s
- Q máximo:** 17.87 l/s
- Q nominal:** 18.14 l/s
- Q mínimo:** 14.06 l/s
- Nivel Qmax:** 40.00cm
- Nivel Qnom:** 28.20cm
- Nivel Qmin:** 18.30cm

Se observa en el Ensayo 1, el rango de valores del nivel sobre el escalón que permiten tener un control adecuado en el módulo, sin embargo, el nivel nominal

en éste arreglo, permite un gasto mayor comparado con el nivel de operación máximo del módulo, obteniendo así un buen funcionamiento, pero los niveles dentro del canal no ayudan a mantener el gasto constante, cuando la desviación estándar permite tan solo 1.19 l/s se aleje al valor optimo.



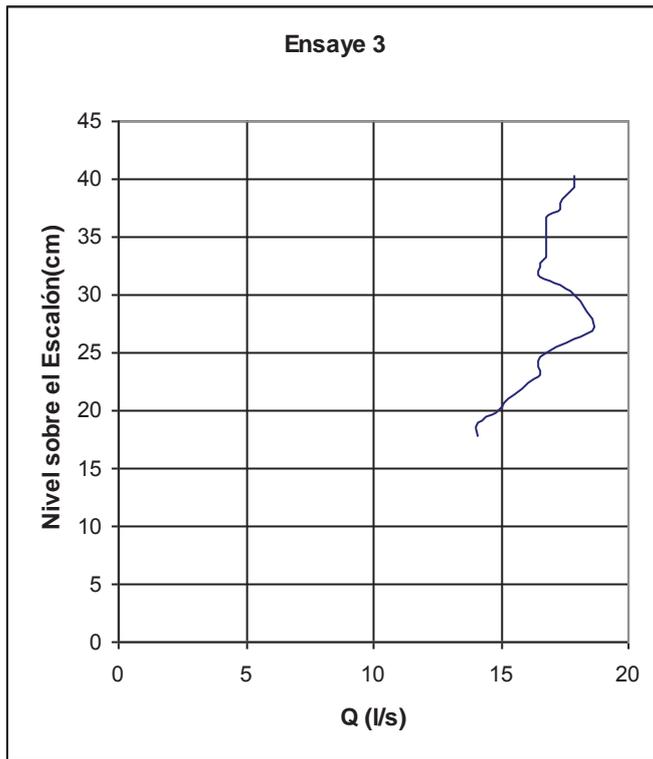
Índices Obtenidos:

- Mediana:** 16.93 l/s
- Media:** 17.14 l/s
- Desv. Estándar:** 0.66 l/s
- Q máximo:** 17.87 l/s
- Q nominal:** 16.54 l/s
- Q mínimo:** 14.30 l/s
- Nivel Qmax:** 36.00cm
- Nivel Qnom:** 29.70cm
- Nivel Qmin:** 17.90cm

Al colocar el escalón rectangular en lugar del cimacio, se observa con bastante diferencia que los niveles en la entrega son más constantes en los rangos de operación del módulo para tirantes mayores a los anteriormente observados.

Modificando de manera minuciosa la geométrica conservando las características del ultimo ensaye pero ahora, de acuerdo al plan de pruebas, con el escalón mas bajo, por sentido común incrementaremos la descarga a la salida, de tal manera que los gastos proporcionados con el módulo quedarán sobrados del ultimo ensaye tratando de dejarlos más pegados al valor deseado del módulo XX₂ para unos 17 l/s.

Mismo arreglo, escalón mas adentro.

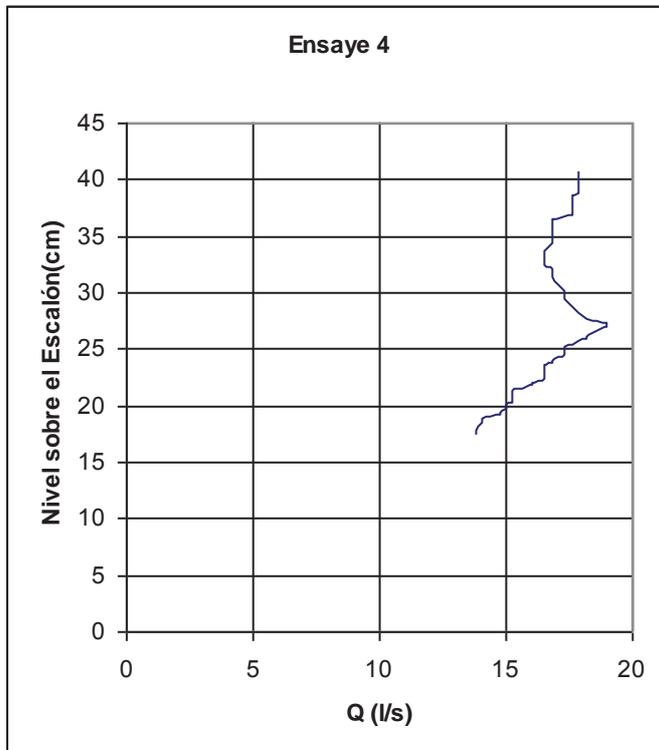


Índices Obtenidos:

Mediana: 16.80 l/s
Media: 17.11 l/s
Desv. Estándar: 0.73 l/s
Q máximo: 17.87 l/s
Q nominal: 16.54 l/s
Q mínimo: 14.06 l/s
Nivel Qmax: 40.40cm
Nivel Qnom: 32.80cm
Nivel Qmin: 18.90cm

Los datos obtenidos para este nuevo arreglo, muestran un mejor comportamiento en los niveles de operación del módulo.

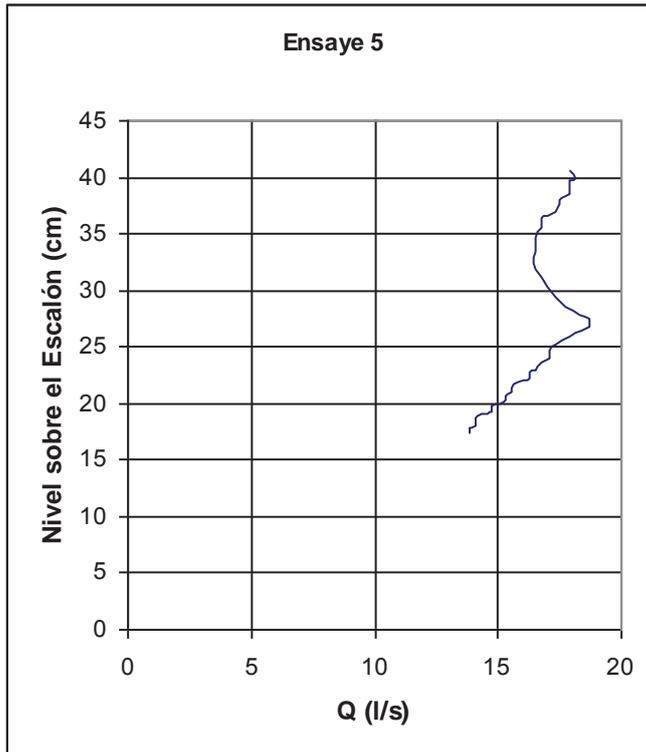
Con el escalón intermedio



Índices Obtenidos:

Mediana: 17.59 l/s
Media: 17.52 l/s
Desv. Estándar: 0.65 l/s
Q máximo: 17.87 l/s
Q nominal: 16.80 l/s
Q mínimo: 14.78 l/s
Nivel Qmax: 40.70cm
Nivel Qnom: 35.40cm
Nivel Qmin: 19.20cm

El rango de variación con los tirantes queda aun más reducido, permitiendo así un control mucho más eficiente con cargas mayores en rangos instantáneos.

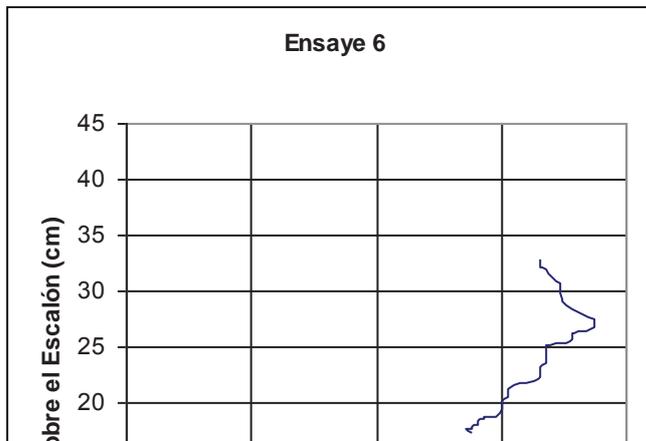


Escalón más afuera.

Índices Obtenidos:

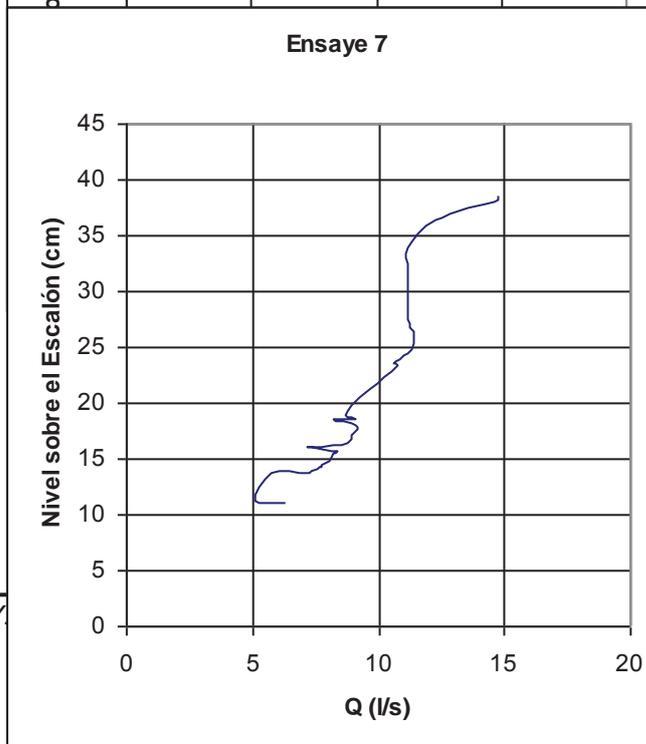
- Mediana:** 17.87 l/s
- Media:** 17.62 l/s
- Desv. Estándar:** 0.66 l/s
- Q máximo:** 17.87 l/s
- Q nominal:** 16.80 l/s
- Q mínimo:** 13.82 l/s
- Nivel Qmax:** 40.60cm
- Nivel Qnom:** 36.50cm
- Nivel Qmin:** 17.90cm

El rango de variación con los tirantes queda aun más reducido, permitiendo así un control mucho más eficiente con cargas mayores en rangos instantáneos.



Índices Obtenidos:

- Mediana:** 17.46 l/s
- Media:** 17.59 l/s
- Desv. Estándar:** 0.73 l/s
- Q máximo:** 16.54 l/s
- Q nominal:** 16.54 l/s
- Q mínimo:** 13.82 l/s
- Nivel Qmax:** 32.80cm
- Nivel Qnom:** 23.30cm
- Nivel Qmin:** 17.90cm

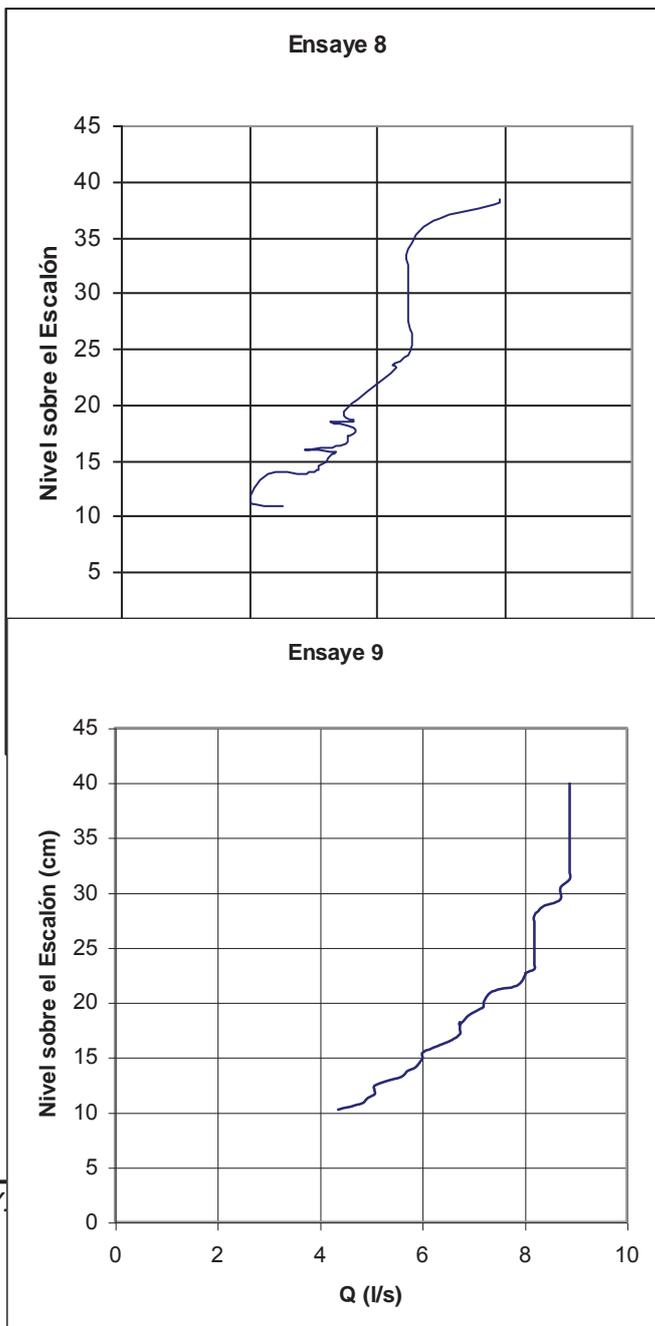


Al colocar el escalón aún más afuera pero elevado, las descargas son muy irregulares y no permite mucho una descarga constante.

Índices Obtenidos:

Mediana: 11.30 l/s
Media: 11.98 l/s
Desv. Estándar: 1.47 l/s
Q máximo: 14.78 l/s
Q nominal: 11.19 l/s
Q mínimo: 9.06 l/s
Nivel Qmax: 38.50cm
Nivel Qnom: 32.20cm
Nivel Qmin: 18.00cm

Bafile o mascara 1, a la altura del escalón, los niveles muestran un mejor control sobre las variaciones que se presentan en el módulo.



Índices Obtenidos:

Mediana: 8.89 l/s
Media: 8.94 l/s
Desv. Estándar: 0.31 l/s
Q máximo: 9.62 l/s
Q nominal: 8.89 l/s
Q mínimo: 7.36 l/s
Nivel Qmax: 37.70cm
Nivel Qnom: 31.70cm
Nivel Qmin: 17.90cm

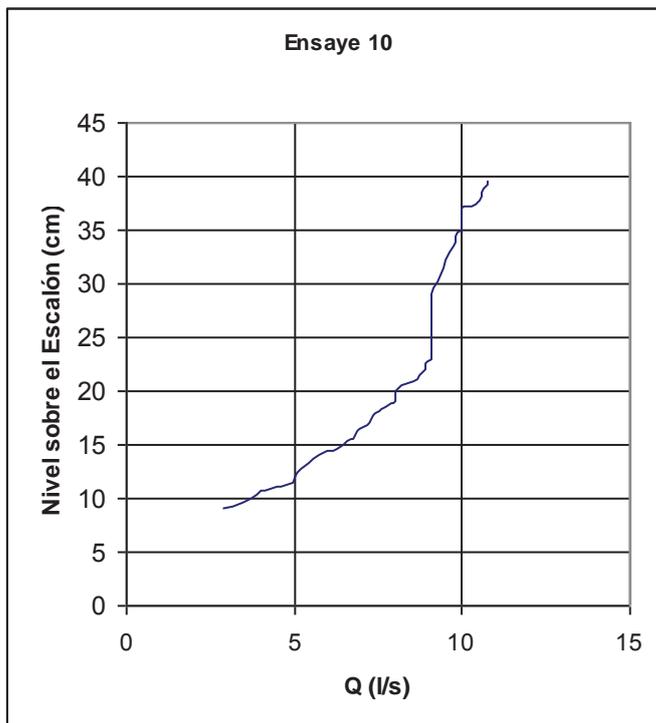
Escalón y mascara 2 referenciados al borde bajo de la mascara 1, muestra un control mucho mejor.

Índices Obtenidos:

Mediana: 8.19 l/s
Media: 8.37 l/s

Desv. Estándar: 0.31 l/s
Q máximo: 8.89 l/s
Q nominal: 8.89 l/s
Q mínimo: 6.74 l/s
Nivel Qmax: 40.00cm
Nivel Qnom: 32.00cm
Nivel Qmin: 18.20cm

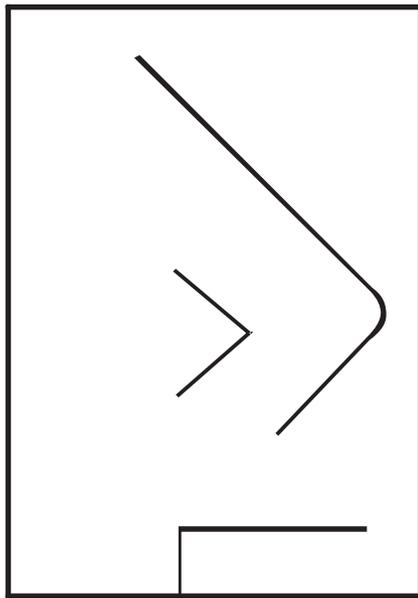
Con el escalón más adelante, pero los baffles a la misma altura, se muestra que los niveles de variación son muy buenos, permite una descarga muy controlada y casi constante en rangos donde el tirante es muy variado.



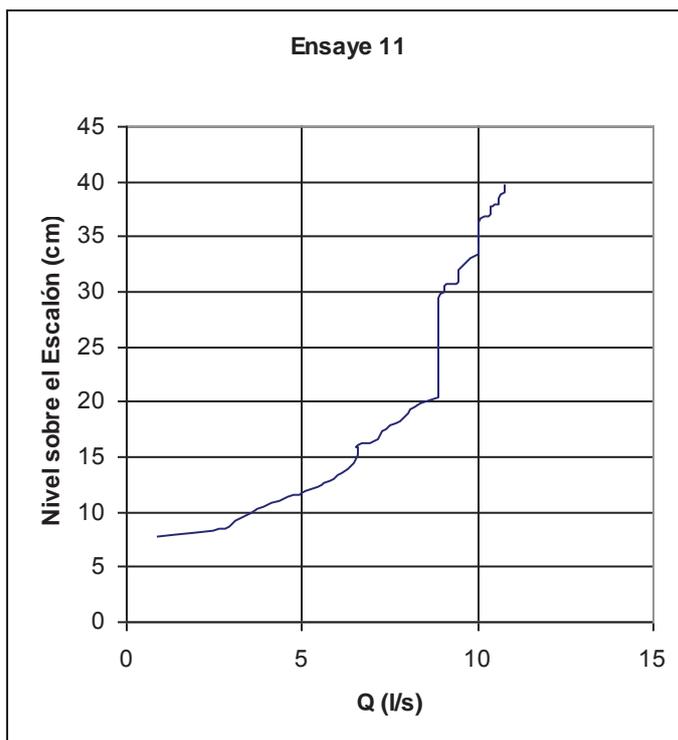
Índices Obtenidos:

Mediana: 9.07 l/s
Media: 9.11 l/s
Desv. Estándar: 0.67 l/s
Q máximo: 10.79 l/s
Q nominal: 9.62 l/s
Q mínimo: 7.53 l/s
Nivel Qmax: 39.70cm
Nivel Qnom: 33.00cm
Nivel Qmin: 18.10cm

Misma geometría pero ahora variando la velocidad del flujo dentro del canal a una más alta, muestra un control mucho mejor, presenta poca vorticidad, el gasto es casi constante.



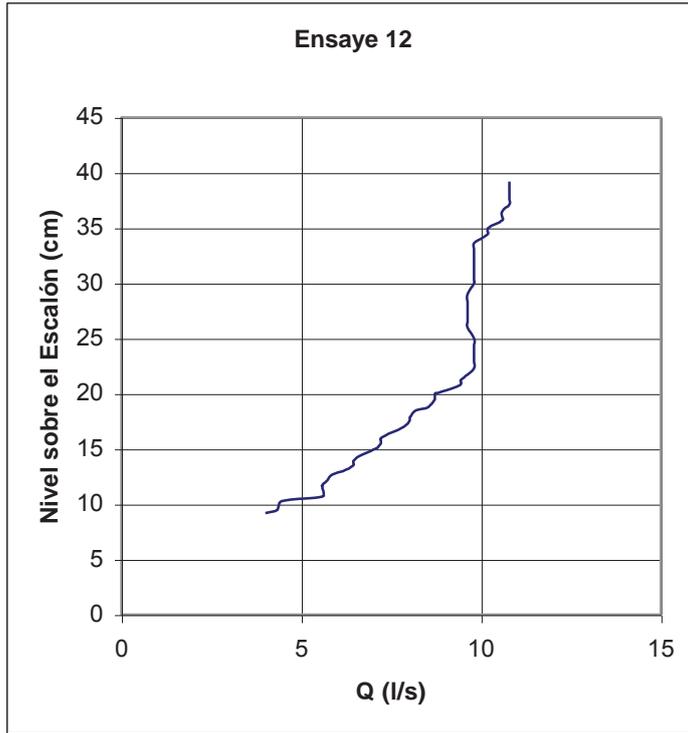
Con el escalón más atrás y el baffle 2 modificado el ángulo del baffle 1.



Índices Obtenidos:

- Mediana:** 9.43 l/s
- Media:** 9.52 l/s
- Desv. Estándar:** 0.71 l/s
- Q máximo:** 10.79 l/s
- Q nominal:** 9.43 l/s
- Q mínimo:** 7.37 l/s
- Nivel Qmax:** 39.70cm
- Nivel Qnom:** 32.00cm
- Nivel Qmin:** 17.50cm

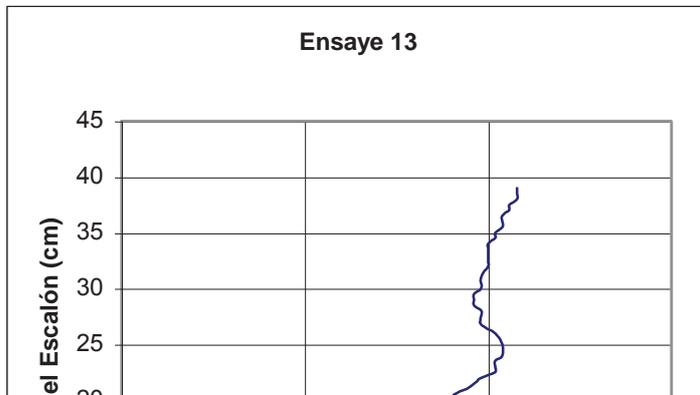
El ensayo fue realizado con el escalón a la mitad de la distancia entre los baffles, se observa un control mucho más constante con respecto a las variaciones en el nivel sobre el escalón, sin embargo los gastos no son los deseados en la operación.



Índices Obtenidos:

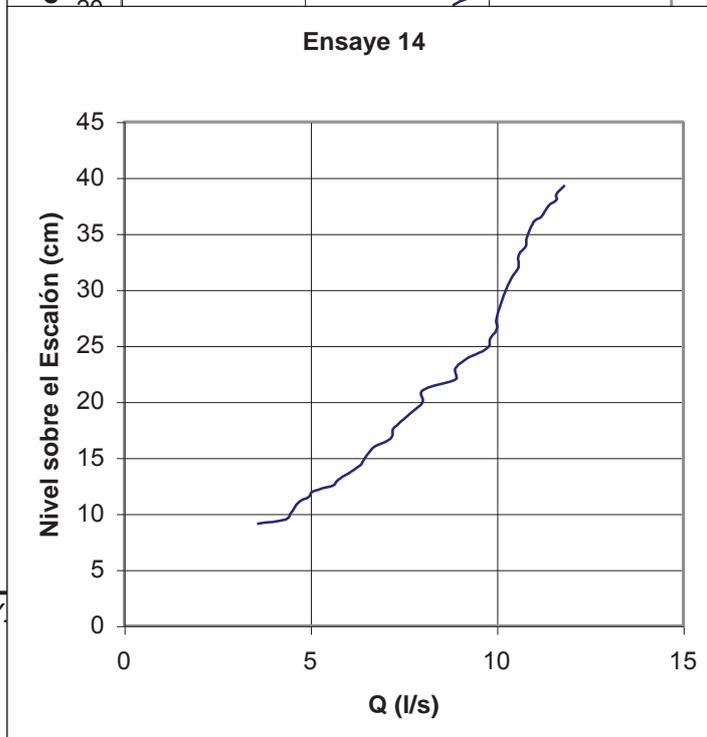
Mediana: 9.81 l/s
Media: 10.05 l/s
Desv. Estándar: 0.45 l/s
Q máximo: 10.79 l/s
Q nominal: 9.81 l/s
Q mínimo: 8.19 l/s
Nivel Qmax: 39.20cm
Nivel Qnom: 32.50cm
Nivel Qmin: 18.50cm

.Variando el flujo a uno más rápido en el canal, se muestra un control mucho más constante en la descarga, con variación en el nivel sobre el escalón en rangos más amplios con respecto al anterior ensaye.



Índices Obtenidos:

Mediana: 10.19 l/s
Media: 10.16 l/s
Desv. Estándar: 0.36 l/s
Q máximo: 10.79 l/s
Q nominal: 10.00 l/s
Q mínimo: 8.02 l/s
Nivel Qmax: 9.10cm
Nivel Qnom: 4.00cm
Nivel Qmin: 7.00cm

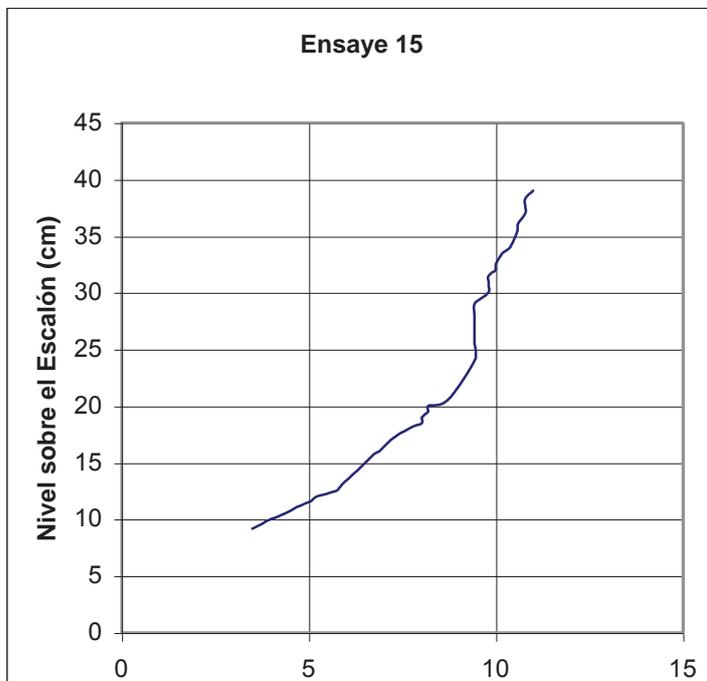


La separación entre los baffles es más corta, variando la posición del escalón, pero no permite una descarga constante con respecto a la variación del nivel sobre el escalón.

Índices Obtenidos:

Mediana: 10.39 l/s
Media: 10.31 l/s
Desv. Estándar: 0.91 l/s
Q máximo: 11.82 l/s
Q nominal: 10.59 l/s
Q mínimo: 7.21 l/s
Nivel Qmax: 39.30cm
Nivel Qnom: 2.00cm
Nivel Qmin: 7.00cm

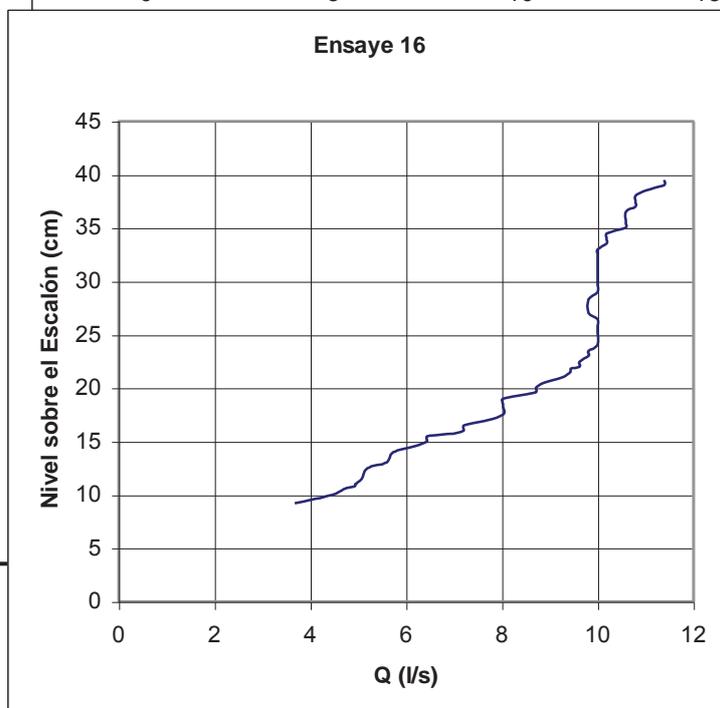
Colocando el escalón a la altura del baffle 2, con separación regular del borde inferior pero corta en la parte superior del baffle 1, la descarga por momentos parece ser constante.



Índices Obtenidos:

Mediana: 9.91 l/s
Media: 10.06 l/s
Desv. Estándar: 0.57 l/s
Q máximo: 10.99 l/s
Q nominal: 10.00 l/s
Q mínimo: 7.68 l/s
Nivel Qmax: 9.10cm
Nivel Qnom: 2.50cm
Nivel Qmin: 8.00cm

Con las mascararas más juntas de la parte inferior de la mascara 2, se nota que por momento es el gasto puede ser regulado en variaciones de nivel bastante considerables.



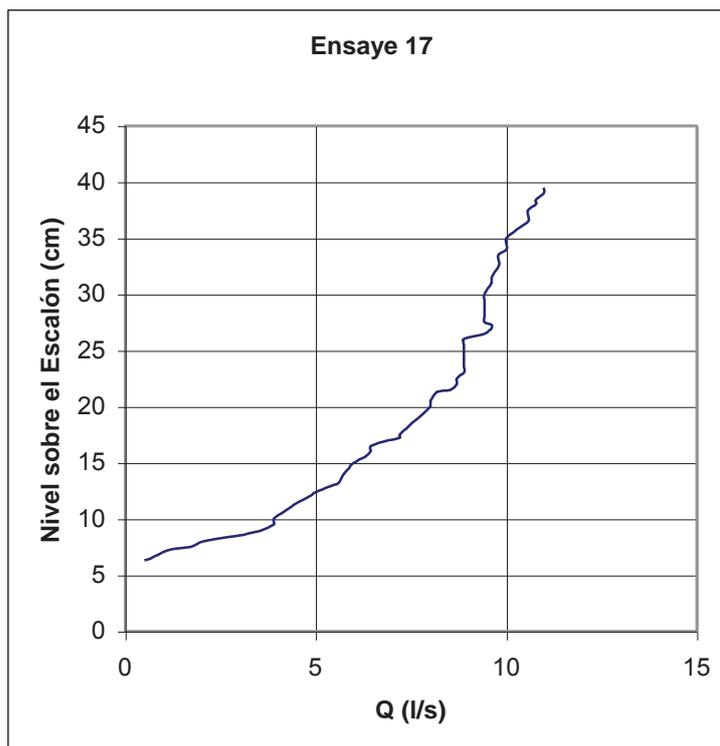
Índices Obtenidos:

Mediana: 10.00 l/s
Media: 10.20 l/s
Desv. Estándar: 0.50 l/s
Q máximo: 11.40 l/s
Q nominal: 10.00 l/s

Q mínimo: 8.02 l/s
Nivel Qmax: 39.50cm
Nivel Qnom: 32.50cm
Nivel Qmin: 18.20cm

Las mascararas fueron colocadas a mayor distancia, se muestra que el rango de regularización para este acomodo, permite la variación del nivel prologada.

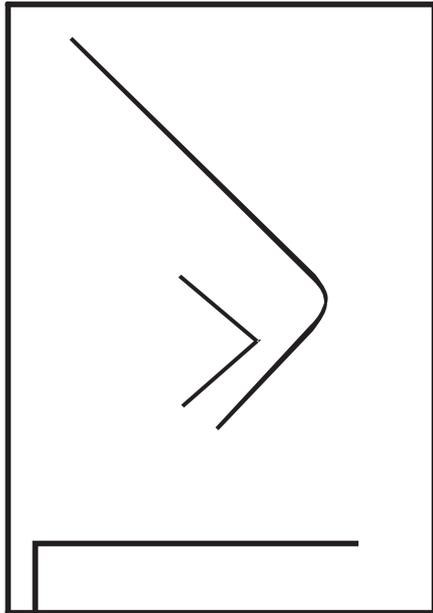
Colocando el bafle 2 más debajo de la posición del bafle 1.



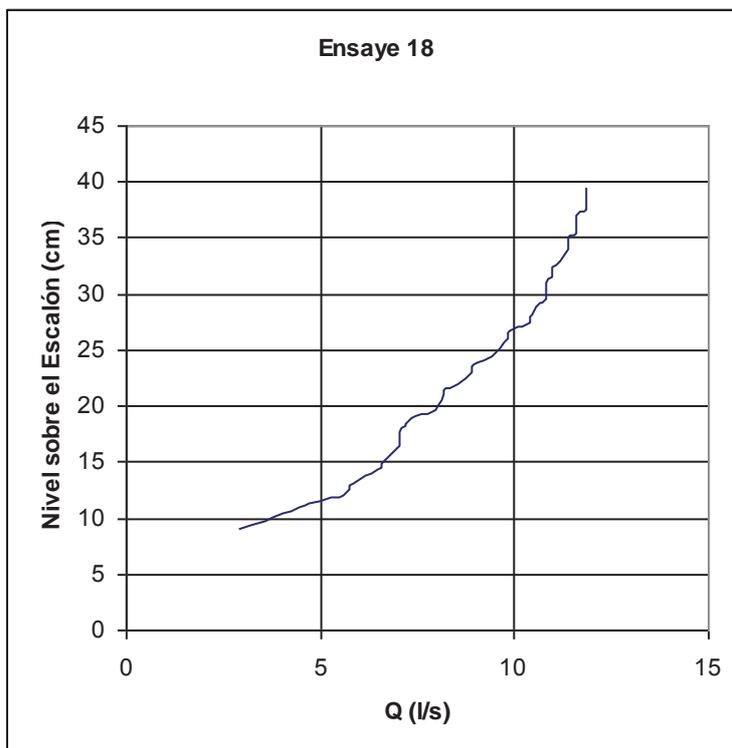
Índices Obtenidos:

Mediana: 9.62 l/s
Media: 9.67 l/s
Desv. Estándar: 0.71 l/s
Q máximo: 10.99 l/s
Q nominal: 9.81 l/s
Q mínimo: 6.90 l/s
Nivel Qmax: 39.50cm
Nivel Qnom: 2.50cm
Nivel Qmin: 18.20cm

La mascara 2, es la que ahora comienza trabajar antes que la mascara 1, el resultado no es muy bueno ya que no permite en gran parte, una descarga constante.



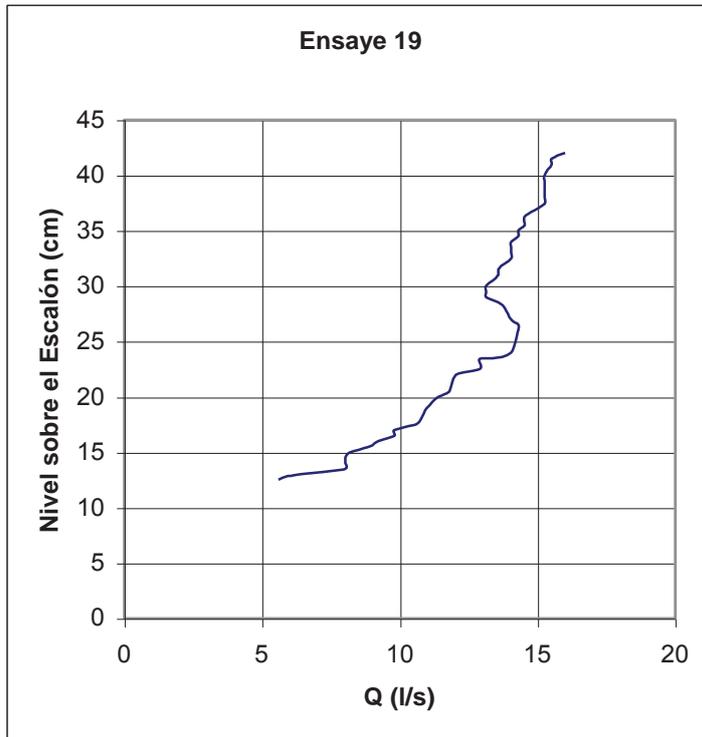
Con el baffle 1 o mascara 1, más junta al baffle 2 o mascara 2, y variando la posición del escalón.



Índices Obtenidos:

- Mediana:** 10.89 l/s
- Media:** 10.65 l/s
- Desv. Estándar:** 0.99 l/s
- Q máximo:** 11.82 l/s
- Q nominal:** 10.99 l/s
- Q mínimo:** 7.06 l/s
- Nivel Qmax:** 9.50cm
- Nivel Qnom:** 2.50cm
- Nivel Qmin:** 6.50cm

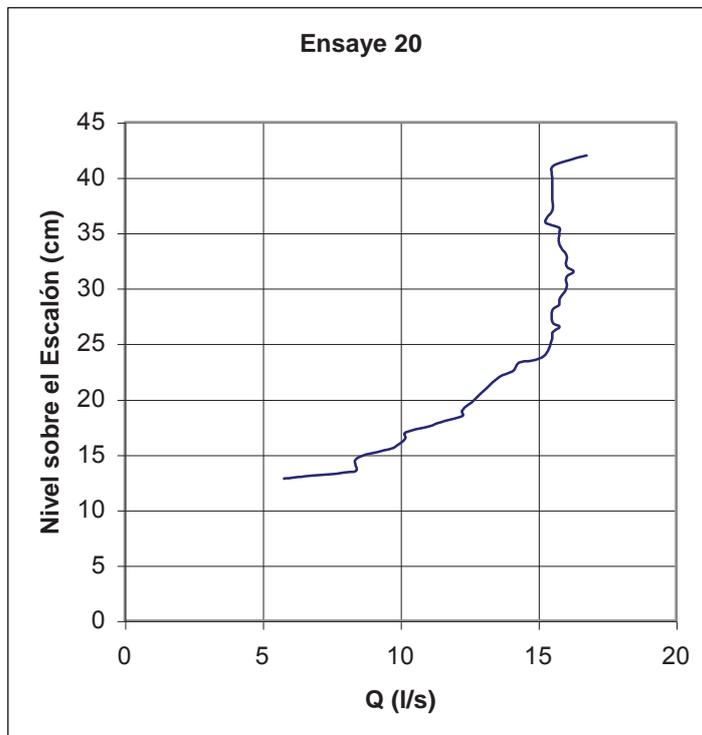
La curva muestra un comportamiento regular, sin embargo, las entregas no son constantes con respecto a las variaciones.



Índices Obtenidos:

Mediana: 14.06 l/s
Media: 14.09 l/s
Desv. Estándar: 0.99 l/s
Q máximo: 16.02 l/s
Q nominal: 14.06 l/s
Q mínimo: 8.02 l/s
Nivel Qmax: 42.00cm
Nivel Qnom: 33.00cm
Nivel Qmin: 14.00cm

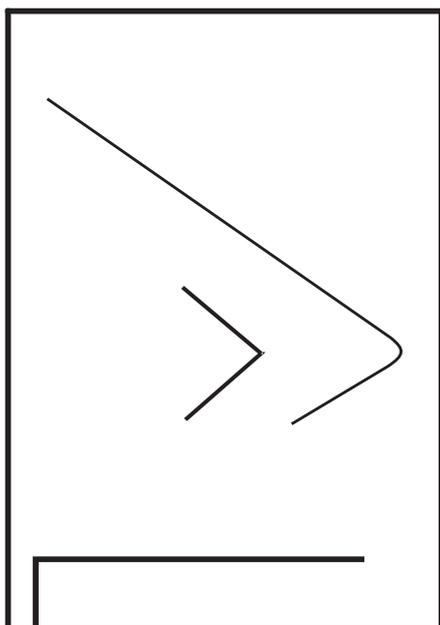
Variando la geometría en cuanto a las distancias entre los baffles, se tiene un mejor control de las entregas, sin embargo no es constante como se desea.



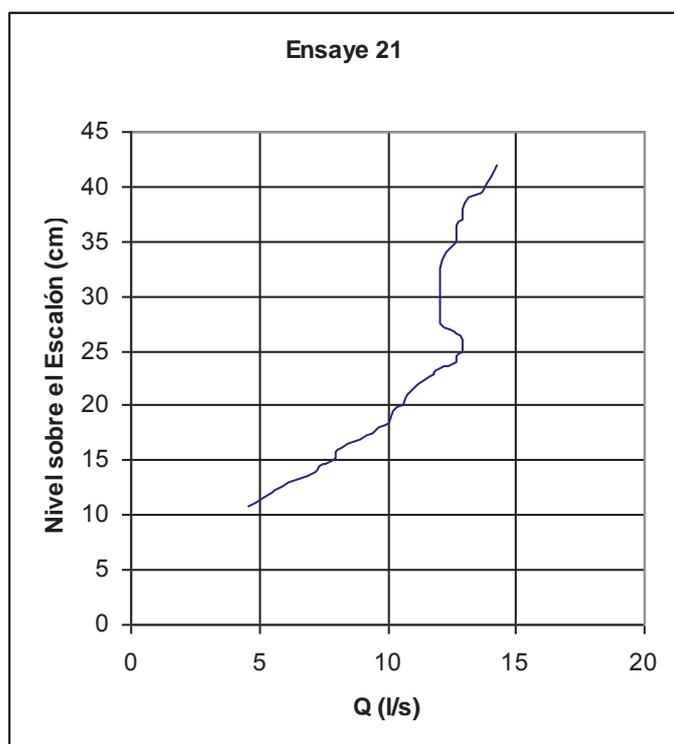
Índices Obtenidos:

Mediana: 15.52 l/s
Media: 15.42 l/s
Desv. Estándar: 0.79 l/s
Q máximo: 16.80 l/s
Q nominal: 16.02 l/s
Q mínimo: 8.71 l/s
Nivel Qmax: 42.00cm
Nivel Qnom: 32.00cm
Nivel Qmin: 15.00cm

En éste ensaye se muestra un control bastante bueno de entregas, operando en rangos de nivel bastante amplios, la modificación en la geometría el baffle 1 mas arriba.



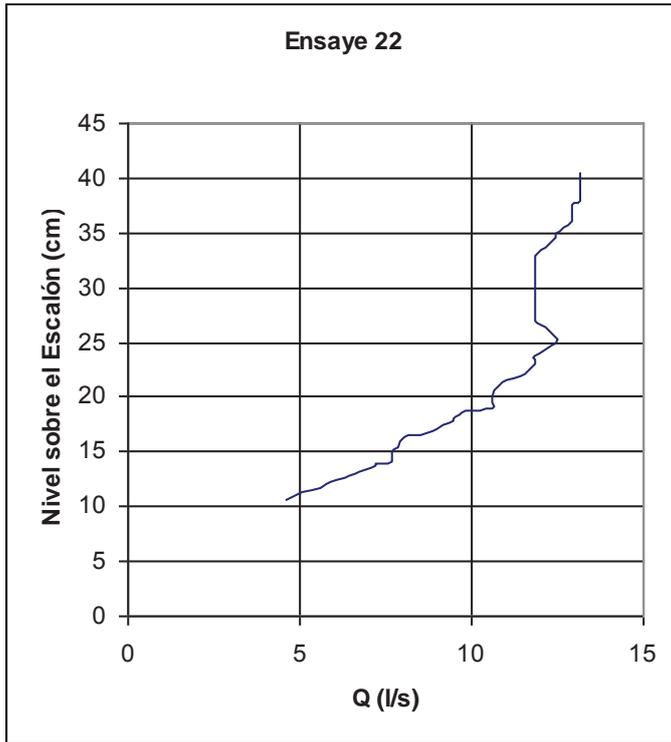
Variando el ángulo y posición del baffle 1 o mascara 1, además de la colocación del escalón en varias posiciones.



Índices Obtenidos:

Mediana:	12.69 l/s
Media:	12.61 l/s
Desv. Estándar:	0.75 l/s
Q máximo:	14.30 l/s
Q nominal:	12.03 l/s
Q mínimo:	8.89 l/s
Nivel Qmax:	42.00cm
Nivel Qnom:	32.50cm
Nivel Qmin:	17.00cm

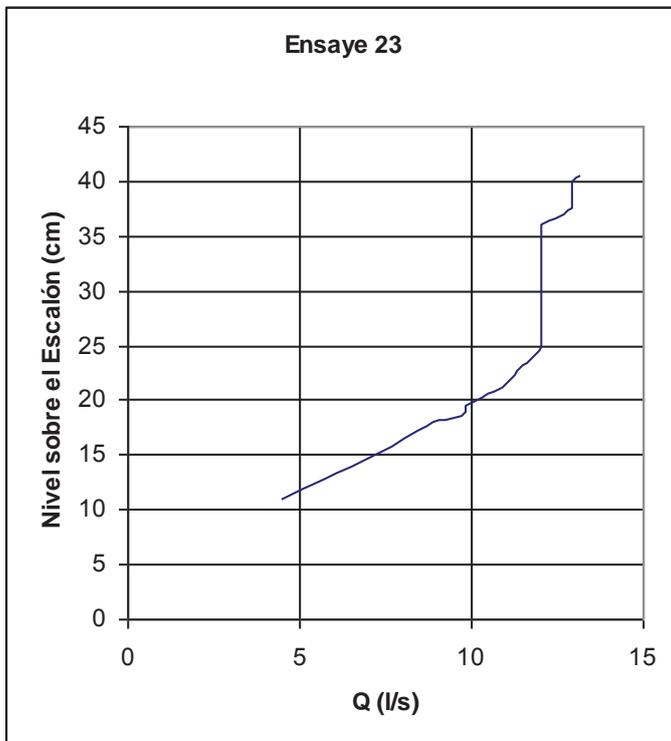
El rango de los niveles en la variación del gasto, es constate, es un buen arreglo pero la entrega mínima esta muy por debajo de lo esperado.



Índices Obtenidos:

Mediana: 11.93 l/s
Media: 12.21 l/s
Desv. Estándar: 0.61 l/s
Q máximo: 13.13 l/s
Q nominal: 11.82 l/s
Q mínimo: 9.43 l/s
Nivel Qmax: 40.50cm
Nivel Qnom: 32.00cm
Nivel Qmin: 17.80cm

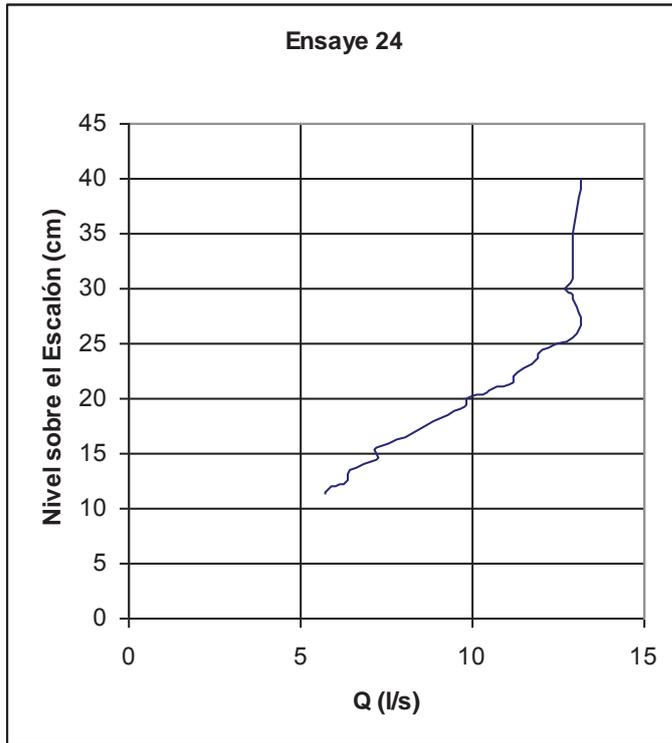
Mejorando la posición de las mascarar con respecto al anterior ensaye, se obtiene un gasto mínimo más factible para el rango en que opera y deja bastante regulada la descarga con respecto a los incrementos de los niveles en el escalón.



Índices Obtenidos:

Mediana: 12.03 l/s
Media: 12.13 l/s
Desv. Estándar: 0.57 l/s
Q máximo: 13.13 l/s
Q nominal: 12.03 l/s
Q mínimo: 8.89 l/s
Nivel Qmax: 40.50cm
Nivel Qnom: 33.50cm
Nivel Qmin: 18.00cm

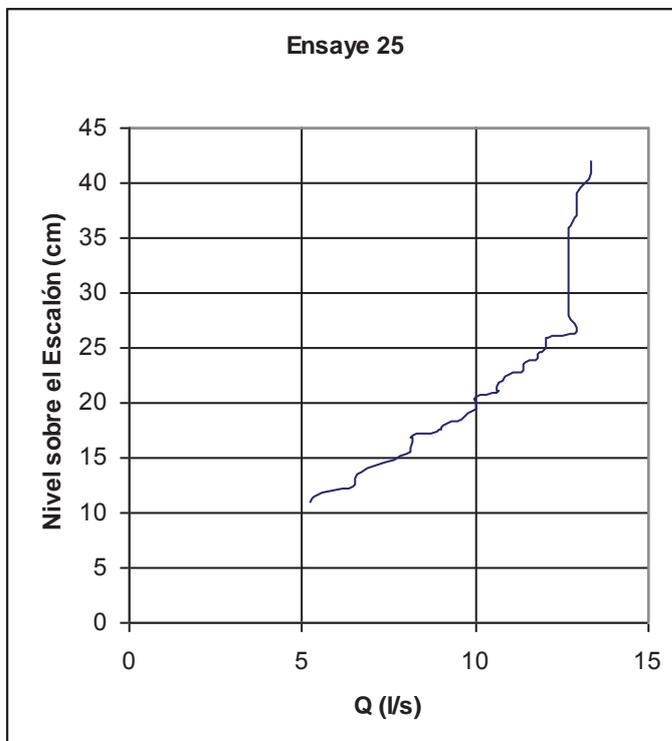
Uno de los mejores ensayes sin duda alguna es este arreglo que permite una gran variación del nivel sobre el escalón dejando la entrega prácticamente constante en casi 12 cm. la modificación realizada es con un ángulo mayor.



Índices Obtenidos:

Mediana: 12.03 l/s
Media: 11.46 l/s
Desv. Estándar: 1.62 l/s
Q máximo: 13.13 l/s
Q nominal: 12.91 l/s
Q mínimo: 5.87 l/s
Nivel Qmax: 40.00cm
Nivel Qnom: 29.00cm
Nivel Qmin: 12.00cm

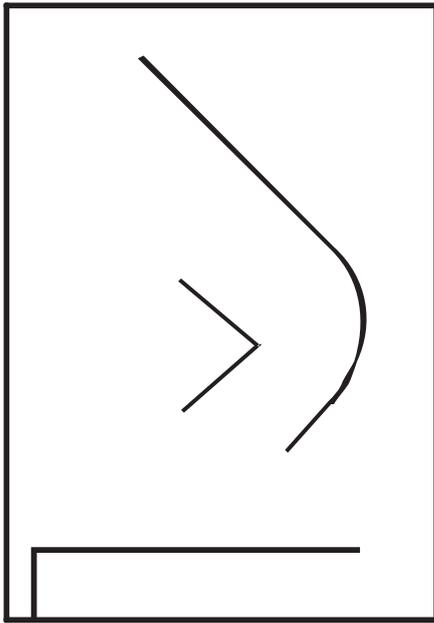
Siendo que los resultados obtenidos con un ángulo mas abierto son bastante buenos en cuestión de control constante de descargas, éste ensaye fue realizado con un ángulo mas abierto en el baffle 1 o mascara 1.



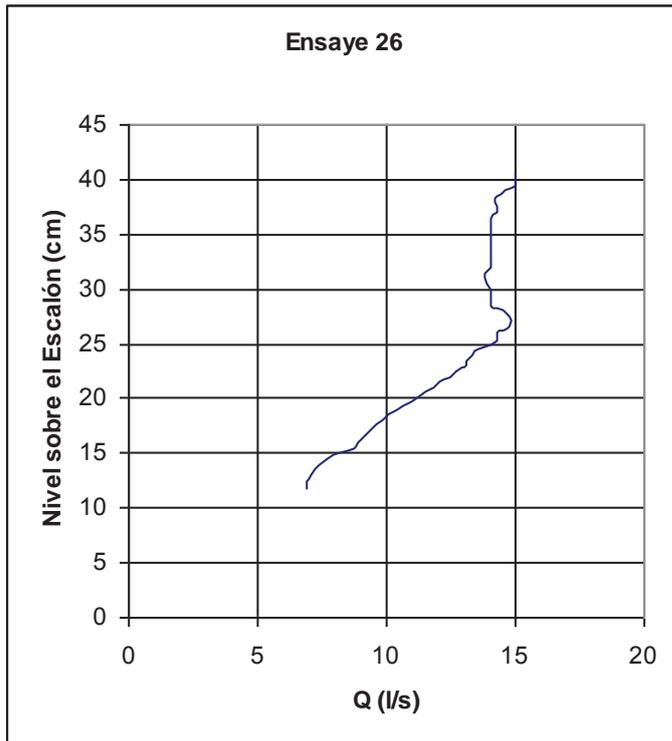
Índices Obtenidos:

Mediana: 12.03 l/s
Media: 11.42 l/s
Desv. Estándar: 1.60 l/s
Q máximo: 13.36 l/s
Q nominal: 11.82 l/s
Q mínimo: 5.33 l/s
Nivel Qmax: 42.00cm
Nivel Qnom: 24.50cm
Nivel Qmin: 11.50cm

Colocando las mascaras mas separadas una de otra, se obtiene un mejor control de descargas en niveles más amplios de carga sobre el escalón.



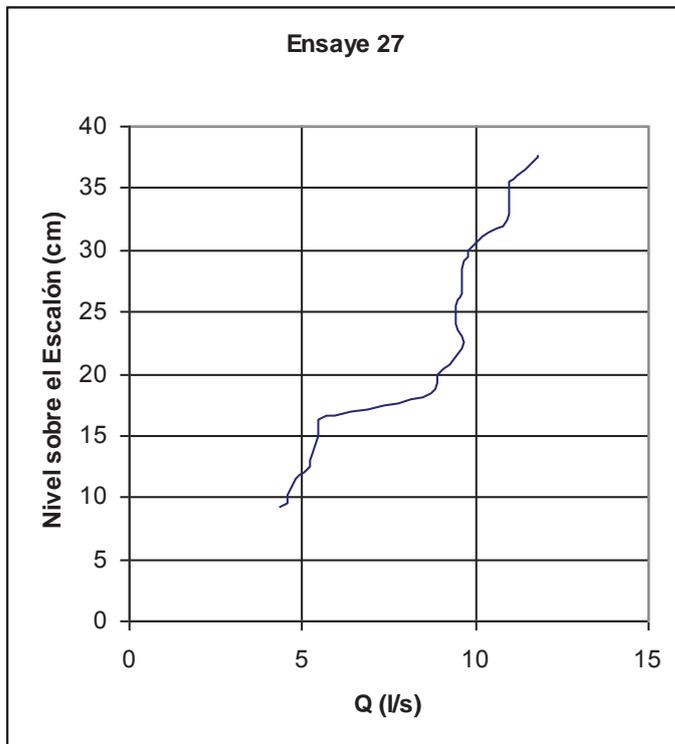
Viendo que el ángulo del baffle 1, es de considerable influencia sobre el eficiente funcionamiento del módulo, provocando contra flujos bastantes favorables al desempeño del sistema, se opta por colocar un baffle curvado que ayude den gran parte, a incrementar la velocidad del fenómeno y por consecuencia regularice aun mejor las entregas de gasto, que finalmente es lo que se pretende, sin embargo, no olvidemos que la combinación de otros factores pudieran no darse como se esperan y mejore en un solo aspecto de las variables en estudio, pero podría resultar una geometría mucho más eficiente.



Índices Obtenidos:

- Mediana:** 14.06 l/s
- Media:** 12.81 l/s
- Desv. Estándar:** 2.03 l/s
- Q máximo:** 15.02 l/s
- Q nominal:** 14.06 l/s
- Q mínimo:** 6.90 l/s
- Nivel Qmax:** 40.50cm
- Nivel Qnom:** 25.00cm
- Nivel Qmin:** 12.50cm

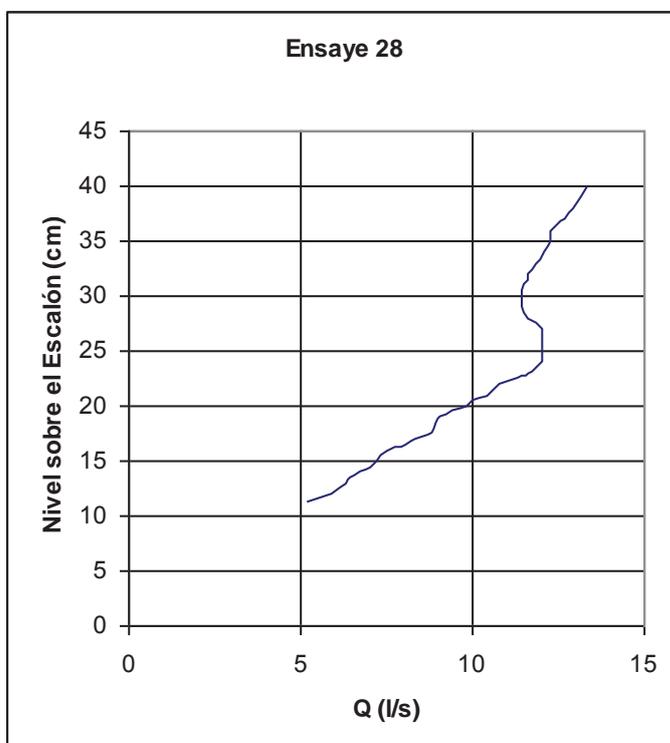
Efectivamente, la mascara curvada incrementa las pérdidas provocadas por el contra flujo, que se ven reflejadas en la grafica con un gasto mucho más constante a los anteriormente obtenidos.



Índices Obtenidos:

Mediana: 9.62 l/s
Media: 9.36 l/s
Desv. Estándar: 1.86 l/s
Q máximo: 11.82 l/s
Q nominal: 9.43 l/s
Q mínimo: 10.20 l/s
Nivel Qmax: 37.70cm
Nivel Qnom: 25.50cm
Nivel Qmin: 10.20cm

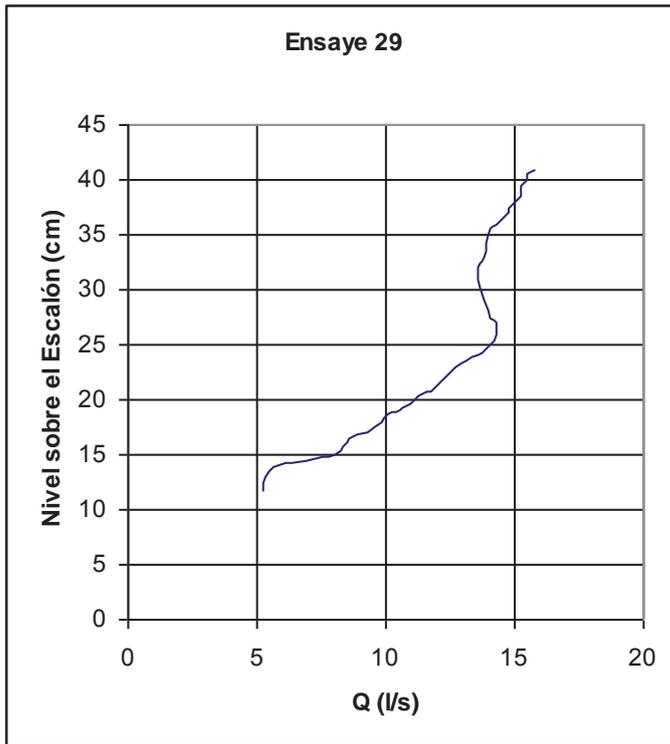
Colocando la mascara 2 más lejana de la mascara 1, se pierde un poco la constancia de las descargas, sin embargo, la prueba sigue dando buenos resultados lo cual corrobora que, sin duda, la geometría que provoca el contra flujo es dominante en el sistema



Índices Obtenidos:

Mediana: 11.62 l/s
Media: 10.69 l/s
Desv. Estándar: 1.72 l/s
Q máximo: 13.36 l/s
Q nominal: 12.03 l/s
Q mínimo: 6.30 l/s
Nivel Qmax: 40.00cm
Nivel Qnom: 25.00cm
Nivel Qmin: 13.00cm

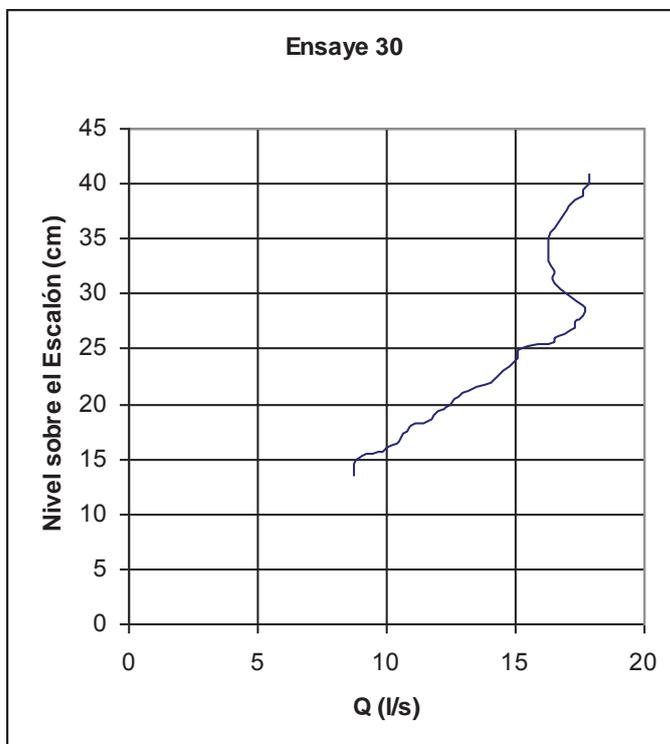
Variando la distancia de la parte inferior del baffle 1 con respecto al escalón, para tener un orificio mucho más grande, se obtienen buenos controles en las descargas en rangos donde las cargas pueden variar bastante, manteniendo un gasto uniforme por momentos.



Índices Obtenidos:

Mediana:	13.94 l/s
Media:	12.96 l/s
Desv. Estándar:	2.21 l/s
Q máximo:	15.77 l/s
Q nominal:	14.06 l/s
Q mínimo:	5.87 l/s
Nivel Qmax:	41.00cm
Nivel Qnom:	25.00cm
Nivel Qmin:	14.00cm

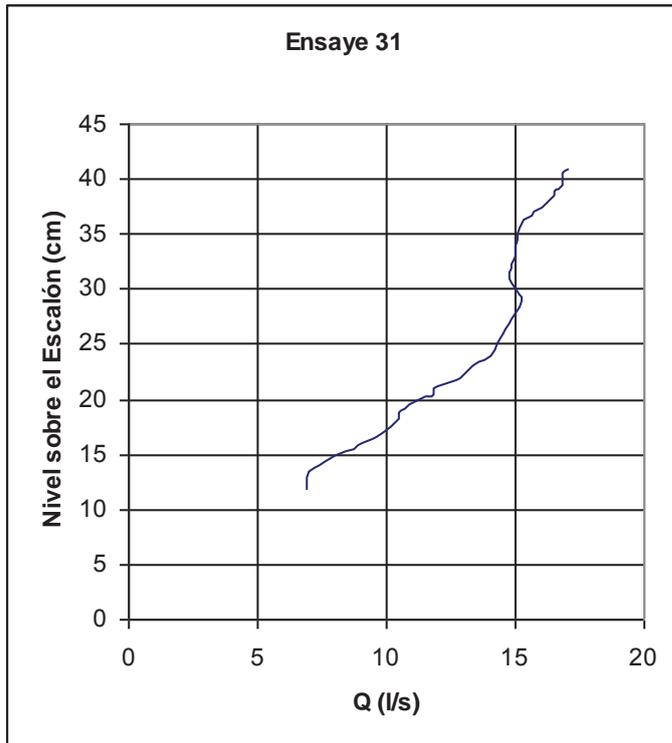
Curveando aun más el baffle 1, la perdida provocada dentro del módulo resulta ser favorable para el control del gasto, pero por otro lado ya no tiene tanta constancia como los arreglos anteriores en cuanto a las entregas.



Índices Obtenidos:

Mediana:	16.28 l/s
Media:	14.41 l/s
Desv. Estándar:	2.85 l/s
Q máximo:	17.87 l/s
Q nominal:	15.27 l/s
Q mínimo:	8.71 l/s
Nivel Qmax:	41.00cm
Nivel Qnom:	25.00cm
Nivel Qmin:	14.50cm

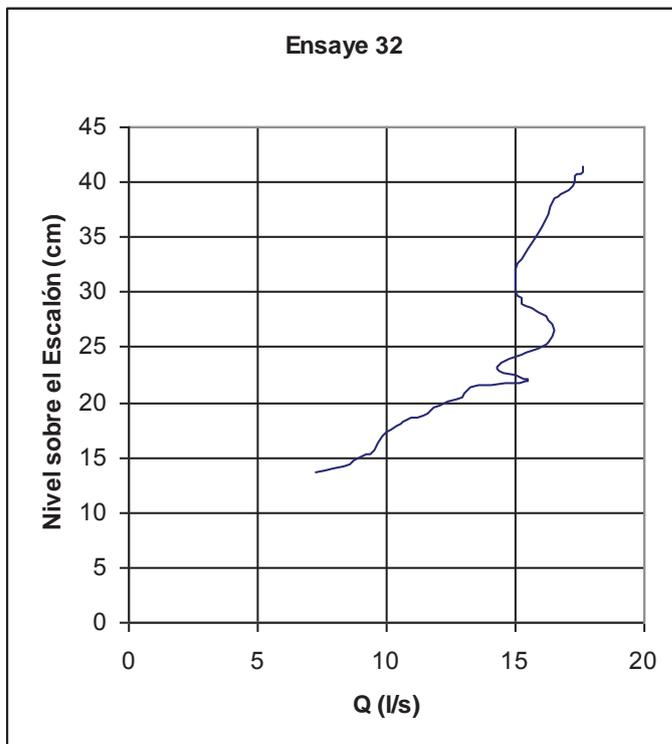
Colocando el escalón mas atrás del baffle 2, se obtienen mayores gastos, pero el comportamiento de las entregas en comparación a los cargas sobre el escalón resultan no ser tan factibles



Índices Obtenidos:

Mediana: 14.78 l/s
Media: 13.39 l/s
Desv. Estándar: 2.70 l/s
Q máximo: 17.06 l/s
Q nominal: 14.30 l/s
Q mínimo: 7.21 l/s
Nivel Qmax: 41.00cm
Nivel Qnom: 25.00cm
Nivel Qmin: 13.80cm

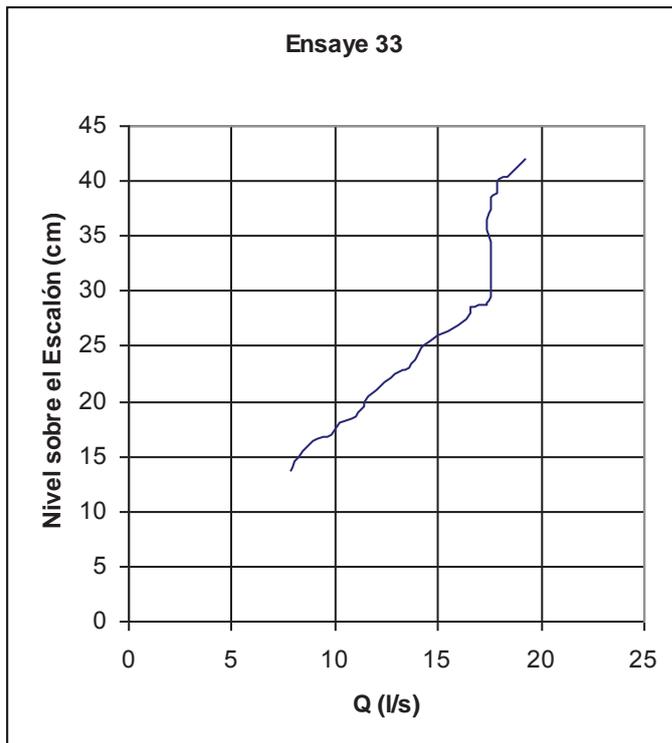
Prolongando la sección baja del baffle 2, se obtiene un control bastante bueno, pero la presencia de verticidad en éste arreglo es bastante constante, aunque aun no se determina si su presencia afecta las entregas.



Índices Obtenidos:

Mediana: 15.27 l/s
Media: 14.20 l/s
Desv. Estándar: 2.58 l/s
Q máximo: 17.59 l/s
Q nominal: 16.02 l/s
Q mínimo: 8.89 l/s
Nivel Qmax: 41.50cm
Nivel Qnom: 25.00cm
Nivel Qmin: 15.00cm

Juntando las mascararas y el escalón colocado al centro de la separación entre ellas, se obtienen controles de gasto buenos, pero no constantes, la geometría resulta mejorar en 2 aspectos buscados.



Índices Obtenidos:

Mediana:	17.33 l/s
Media:	14.95 l/s
Desv. Estándar:	3.22 l/s
Q máximo:	19.26 l/s
Q nominal:	14.30 l/s
Q mínimo:	8.02 l/s
Nivel Qmax:	42.00cm
Nivel Qnom:	25.00cm
Nivel Qmin:	14.50cm

Colocando el bafle 2 más arriba del bafle 1, el control es muy eficiente, dejando hasta por casi 13 cm. una descarga constante en el módulo y regulando los excedentes en las cargas sobre el escalón que resultan salir de su funcionamiento.

Los anteriores resultados, son únicamente los ensayos que se consideran importantes para el estudio de las variables a analizar en la búsqueda de la eficiencia del módulo, ya que muchos ensayos realizados arrojaron resultados que no eran de importancia mostrando desmejoras en el arreglo geométrico del módulo y por consecuencia un mal funcionamiento hidráulico, pero de igual forma sirvieron para analizar la presencia de la turbulencia a la entrada del módulo así como también la constante aparición de vortices, que como una observación previa al plan de pruebas, y con respecto a la primer fase de desarrollo de la investigación, se había comentado antes ya que era inevitable eliminarlos con solo cambiar la geometría, solo haciendo un modificación a la misma pero en otro aspecto, que posteriormente se desarrollara en el otras pruebas para el mejor arreglo, estudiando de manera precisa la influencia de la presencia de este, y concluyendo si influye o no en el funcionamiento.

VI.6.1. Fenómenos visualizados.



En los primeros ensayos, el trazador usado se colocó a la altura media de la salida que comprenden la parte inferior del bafle 1 con el escalón horizontal, mostrando que el flujo queda perfectamente establecido por la geometría que tiene el escalón haciéndose prácticamente paralelo a la pendiente cero del escalón.

En todos los casos, la vena que entra a la altura de la máscara 2, es obligada a bajar hasta su salida por debajo de la máscara 1, muestra de que la línea de corriente es obligada a incrementar su velocidad produciendo una pérdida y por consecuencia regulando el gasto, ayudando a que no exceda de lo que aparentemente tendría que salir si no existieran condiciones que lo afectaran, así como también a su vez el contra flujo obliga a curvar aun más la vena a su descarga.

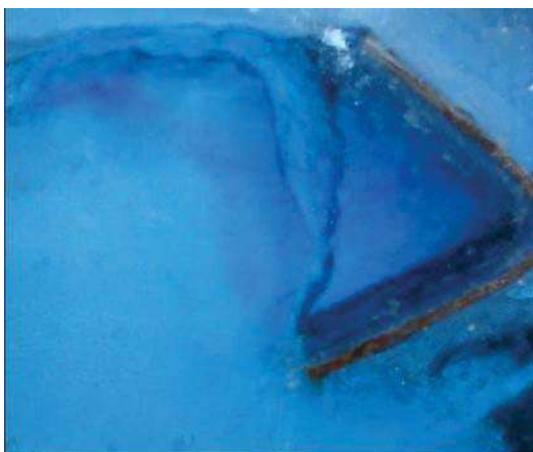


Al ponerse en contacto la vena líquida con el bafle 1, al tocar su parte inferior, se comienza a regular el excedente del gasto que necesariamente comienza a quedar atrapado por la máscara, o las máscaras, comenzando a funcionar como un orificio de pared delgada, dando salida a un gasto mínimo que permanece variando hasta que la carga permite que el bafle 2 comience a regular nuevamente.

Inmediatamente se comienza a generar vorticidad debida a la turbulencia de la entrada del canal al módulo.

En los casos donde quedó el escalón más delante de la arista del bafle 1, es notoria la contracción que sufre la vena al choque con el escalón horizontal, generando una vena mucho más comprimida y velocidades bastante fuertes

que por momento dejaban funcionando al escalón como un vertedor de pared delgada aireado, solo en breves instantes.



La presencia de vortices en todo el momento de la prueba, es una de las variables en cuestión, que como ya se dijo, son indiferentes de los resultados obtenidos, sin embargo, cualquiera que fuera el acomodo geométrico de los elementos, (escalón y mascarar) quedaba claro que no tenían que ver con la formación del fenómeno, por lo que se procedió al empleo de una placa al centro de la mascarar que lo eliminara por completo.

Uno de los principales factores que fueron analizados en las pruebas, fue la presencia de flujos rápidos y flujos lentos, ya que las velocidades a la entrada del módulo afectan las descargas y el funcionamiento del módulo si éstas están siendo variadas de manera constante, como se muestra en las gráficas de los ensayos realizados, los niveles de incremento sobre el escalón, parecen por momentos dejar circular un gasto constante, dependiendo del acomodo de la geometría del módulo, sin embargo, en muchos de los ensayos la presencia de un flujo turbulento y rápido derivaba en el poco control que podía tener la estructura sobre las variaciones repentinas en el tirante dentro del canal, dejándolo, en muchos de los casos, sobrado del gasto que debería realmente regular, y en algunos pocos, por debajo de la descarga deseada. Por su parte cuando el flujo permanecía estable dejando una velocidad prácticamente uniforme en cada incremento de gasto, y regulando las oscilaciones que presentaba en la superficie libre del agua dentro del canal, los gastos obtenidos eran bastante favorables y hasta por rangos bastante considerables de diferencia entre niveles, cargas sobre el escalón, dieron salida a gastos prácticamente idénticos con variaciones en el canal prolongadas, dando como resultado un excelente funcionamiento del dispositivo.

Dentro de la primer fase de desarrollo del estudio del módulo original, se encontraron resultados que favorecen los controles del módulo facilitando la fabricación de los elementos mucho más sencillas y económicas en el aspecto de la cantidad de material usado, sin embargo, las geometrías no han sido analizadas bajo condiciones mínimas como las que sugiere el presente trabajo, dejando nuevamente, y como ya se ha mencionado con anterioridad, la presencia de una geometría que mejore las condiciones, tanto funcionales propias del arreglo geométrico en el módulo, como las de su fabricación en la cuestión de la cantidad de material que se emplee en su elaboración comercial.

VI.6.2. Geometrías más factibles.

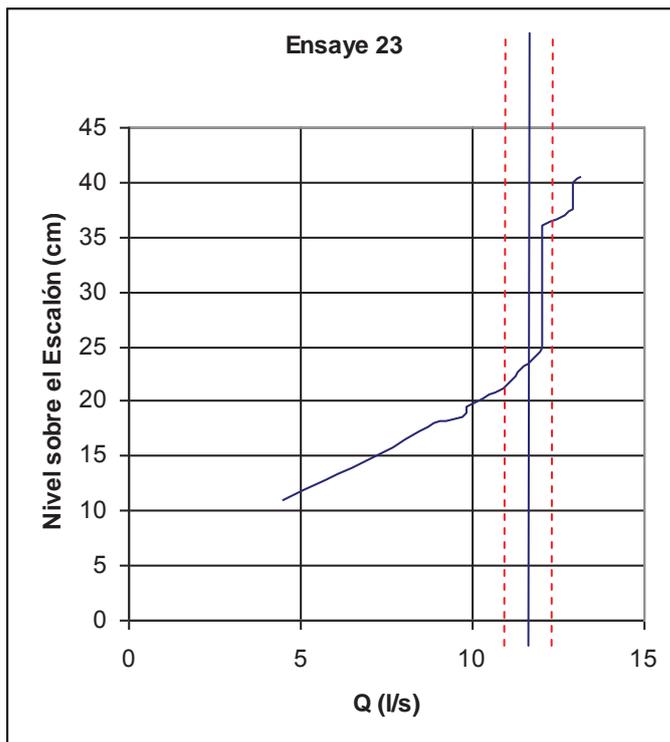
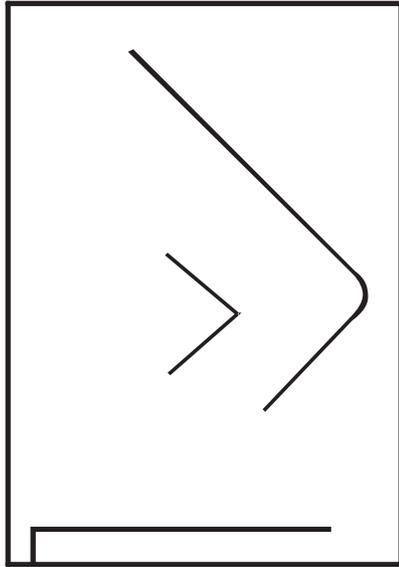
Dentro de los ensayos mostrados en los resultados anteriores, existen varias que combinan únicamente dos de los tres aspectos factibles a mejorar en el módulo, los cuales son, por mencionarlos nuevamente:

1. Máximo gasto promedio.
2. Mínima variación en el gasto para nivel variable en el canal principal.
3. Máximo rango de operación del módulo.

Los ensayos realizados, solo combinan dos de los tres factores a mejorar, siendo por importancia mucho más favorable la combinación del segundo con el tercero, por razones prácticas ya que en la aplicación de los estudios en campo, uno de los factores que intervienen en desventaja de la funcionalidad del módulo, es la presencia de un gasto máximo promedio, que queda únicamente restringido a que el módulo por razones de aplicación busca controlar el gasto con cargas que no superen su funcionamiento, por lo tanto quedará limitado a trabajar con un carga máxima, de allí que, como se mencionó anteriormente, la colocación de éste dependerá exclusivamente de los niveles en los que opere, es decir, que si el módulo no queda referenciado a cotas en las que opera el canal o la toma, no funcionará como se desea.

Las siguientes pruebas muestran el comportamiento sobre la reducción de vórtices en el módulo, mismo que busca la influencia de éste fenómeno en el desempeño del mismo, así como también determinar si la presencia de este esta relacionada o no con las variables que se desean mejorar.

En los siguientes ensayos, se muestran variaciones pequeñas que modificaron en lo mínimo la geometría que arrojó los mejores resultados en cuanto al control, son analizados con la variación del flujo, y usando el trazador de líneas de corriente, se busco mejorar el funcionamiento del módulo, colocando nuevos elementos en su geometría que ayudaran a tener mejores resultados en cuanto a la variación del nivel sobre el escalón, o cargas, así como directamente a las descargas obtenidas.

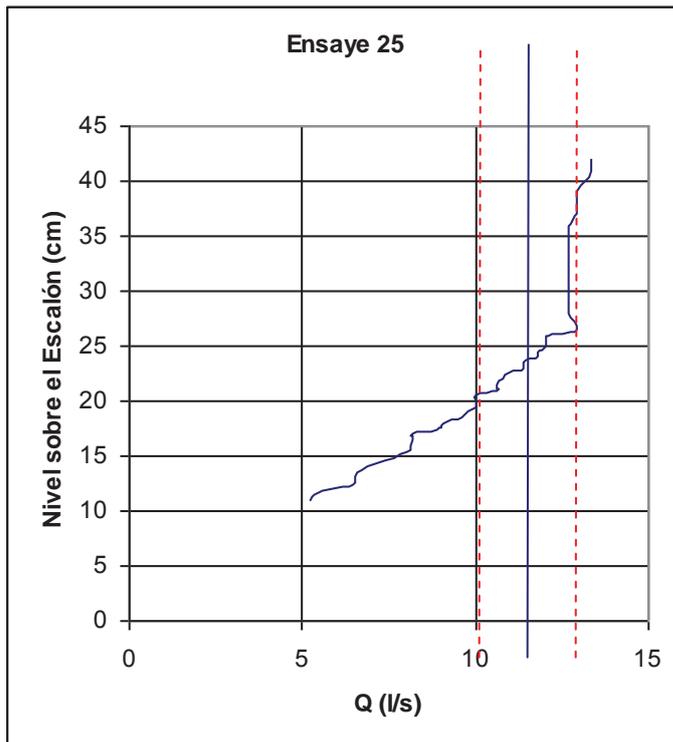


Índices Obtenidos:

- Mediana:** 12.03 l/s
- Media:** 12.13 l/s
- Desv. Estándar:** 0.57 l/s
- Q máximo:** 13.13 l/s
- Q nominal:** 12.03 l/s
- Q mínimo:** 8.89 l/s
- Nivel Qmax:** 40.50cm
- Nivel Qnom:** 33.50cm
- Nivel Qmin:** 18.00cm

La línea azul representa el gasto nominal para el ensaye, las 2 franjas punteadas rojas, la variación que puede tener en la entrega de gasto.

El ensaye número 23, cuya geometría esta mostrada en la fotografía, es sin duda el mejor arreglo en cuanto a las entregas descargadas por el módulo, se observa un perfecto control, prácticamente constante, en casi 11 cm. de incremento a partir del primer gasto entregado nominal de aproximadamente 12.03 l/s cuando la carga es de 25 cm. coincidiendo con el gasto nominal para el acomodo de los baffles. Sin embargo existen otras geometrías cuya variación les permiten ser también funcionales, como las que se muestran a continuación.



Índices Obtenidos:

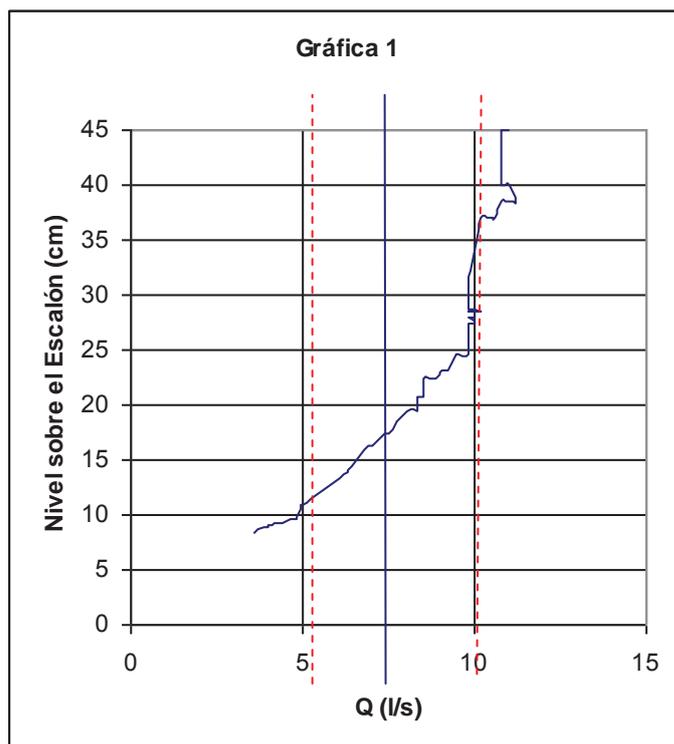
Mediana:	12.03 l/s
Media:	11.42 l/s
Desv. Estándar:	1.60 l/s
Q máximo:	13.36 l/s
Q nominal:	11.82 l/s
Q mínimo:	5.33 l/s
Nivel Qmax:	42.00cm
Nivel Qnom:	24.50cm
Nivel Qmin:	11.50cm

Para este ensaye la desviación estándar permite un rango mucho más bondadoso en cuanto a la entrega del gasto nominal, que para el caso es muy bueno comparado con la media del ensaye.

En el éste caso, los datos ideales para el ensaye, ayudan a tener un rango mas amplio en cuanto la efectividad de las entregas, ya que por mucho tiempo son prácticamente constantes comparadas con los incrementos de la carga sobre el escalón, sin embargo, se nota que la respuesta en el funcionamiento del módulo es lenta hasta el punto donde logra nuevamente controlar las entregas y hacer el gasto prácticamente constante muy cercano al gasto nominal para el ensaye.

La geometría no es mostrada ya que solo se realizaron pequeños ajustes en cuanto la ubicación de los baffles con respecto al arreglo anterior, variando únicamente la posición del baffle 2 a 1.5cm. verticalmente más abajo del acomodo anterior, por lo que se nota un salto en la gráfica no tan significativo en el control con respecto al ensaye 23, manteniendo un control bastante bueno con respecto a las variaciones del nivel sobre el escalón.

Una vez encontrada la geometría que más se acercaba a la optima, se comenzó a ensayar con la geometría variando la posición y los ángulos de dobles de las mascararas, siendo que el contra flujo, fue de bastante influencia en el buen desempeño del módulo al mantener las entregas casi constantes, los resultados que se muestran a continuación son las obtenidos por diversos factores variados en lo que resulto ser el mejor arreglo geométrico para el módulo.



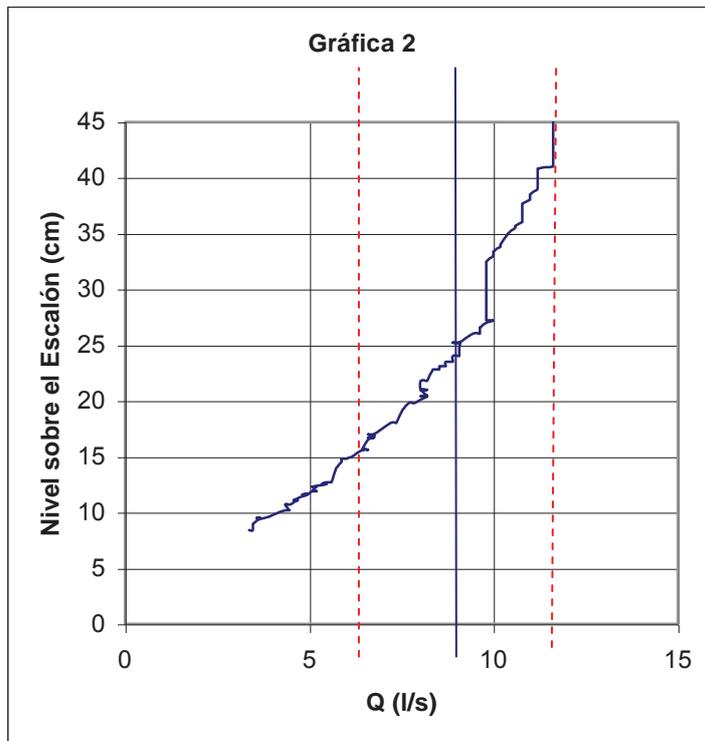
Índices Obtenidos:

Mediana:	8.98 l/s
Media:	7.60 l/s
Desv. Estándar:	2.50 l/s
Q máximo:	11.19 l/s
Q nominal:	7.05 l/s
Q mínimo:	5.01 l/s
Nivel Qmax:	45.00cm
Nivel Qnom:	16.30cm
Nivel Qmin:	10.90cm

La desviación estándar para este muestreo, es muy buena, permite un rango de eficiencia mucho más amplio ya que el acomodo geométrico del módulo resulta adecuado al combinar las entregas casi constantes en poco más de 15cm. Con variaciones mínimas en el gasto, dejando por casi nada sobrado el gasto máximo contenido en su rango de desviación.

La modificación para este arreglo fue cerrando un poco más el ángulo de doblez a la mascara 1 o baffle 1 en el ensaye 23, haciendo por consecuencia que el contra flujo, influya de manera directa en el control de las entregas que se tenían anteriormente, sin embargo, el gasto que se tenía mucho más constante, no se mantiene de la misma manera, por lo cual el arreglo aun no es el mejor y se puede obtener.

El siguiente ensaye, trata de combinar los factores encontrados en éste y por lo tanto mejorar la última geometría y ver si las variables observadas en él son de ayuda para modificar en cierta instancia alguno de los factores que hacen más eficiente a la configuración original.



Índices Obtenidos:

Mediana:	9.62 l/s
Media:	6.98 l/s
Desv. Estándar:	2.34 l/s
Q máximo:	11.61 l/s
Q nominal:	7.69 l/s
Q mínimo:	3.47 l/s
Nivel Qmax:	45.00cm
Nivel Qnom:	19.80cm
Nivel Qmin:	9.00cm

Regresando a la geometría original, modificando el escalón en forma de cimacio, colocando el horizontal y variando el ángulo de doblez del baffle 2, se obtiene un buen control con gastos no tan fuera de los tolerados por la desviación estándar a partir del momento en que el gasto nominal sale del módulo, lo cual comprueba que el acomodo es bastante bueno dejando constante el gasto hasta por 10cm de variación sobre la carga del escalón.

La desviación estándar para ésta geometría nos deja claro que los gastos obtenidos en la prueba no están tan fuera de la tolerancia para el gasto nominal

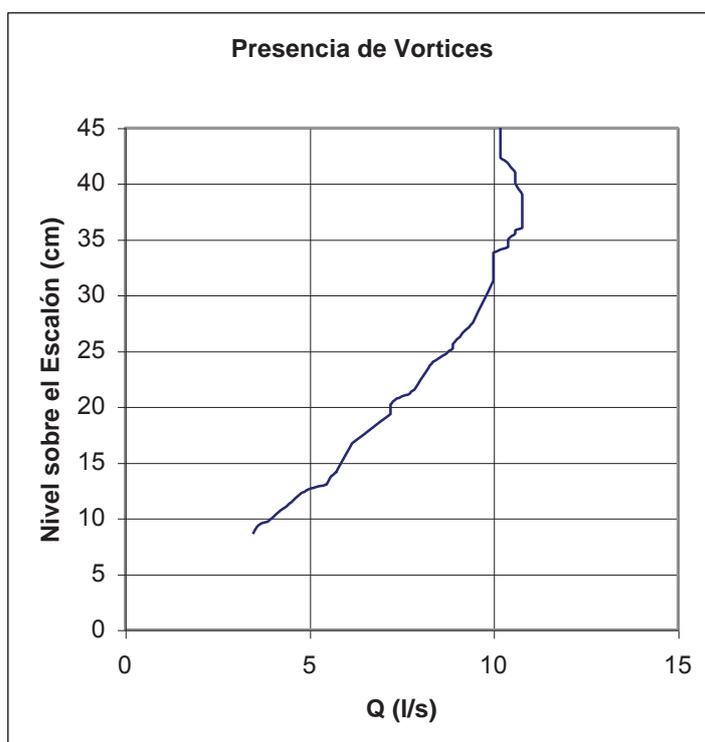
cuando las variaciones en la carga sobre el escalón parecen ser bastante variadas.

Influencia de los vortices

Ahora por otro lado, dentro de los objetivos que pretenden mejorar el funcionamiento, existe la presencia constante de vortices en todos los ensayos, por lo que éste pudiera alterar, o no, los resultados obtenidos en los ensayos, por lo cual se procedió a realizar varios muestreos que comparativamente con los antes hechos, fueran simulados con algún dispositivo físico dentro del módulo que eliminará por completo la presencia de vortices, y obteniendo los resultados determinar si es de influencia en las variables en estudios, o simplemente se trata de un fenómeno en constante presencia sin influencia alguna.

VI.6.2.1. Influencia de vortices

Los siguientes resultados muestran que la influencia de vortices en el funcionamiento del módulo aquacontrol, no son de peso para las variables en estudio, siendo que su existencia o inexistencia en el módulo, nada tienen que ver en los resultados obtenidos, entiéndase que en las gráficas se muestran ligeras variaciones que son consecuencia de errores pequeños en la prueba pero de carácter externo al análisis de datos.



Índices Obtenidos:

Mediana:	8.89 l/s
Media:	7.64 l/s
Desv. Estándar:	2.48 l/s
Q máximo:	10.79 l/s
Q nominal:	7.21 l/s
Q mínimo:	3.57 l/s
Nivel Qmax:	45.00cm
Nivel Qnom:	19.30cm
Nivel Qmin:	9.20cm

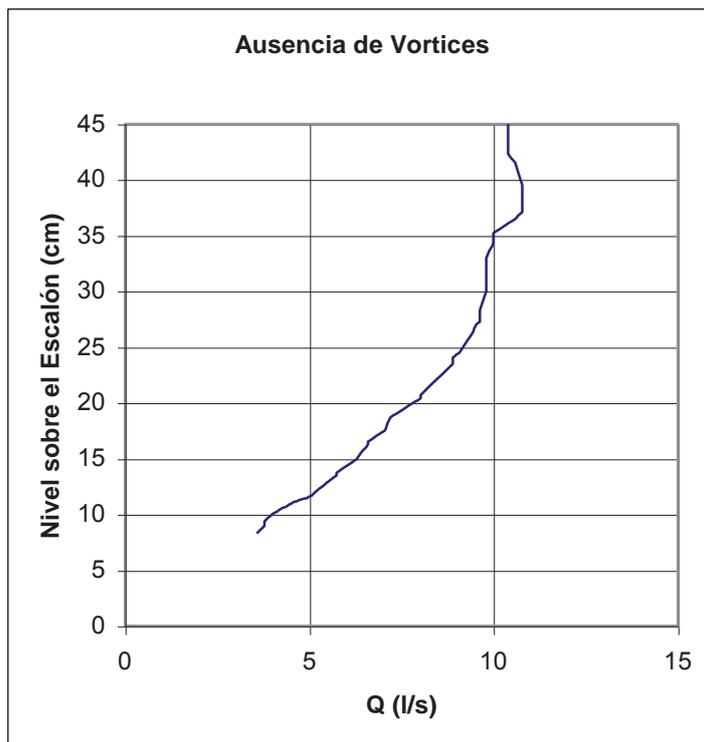
La presencia de vortices es constante en todo momento, sobre todo cuando la marca 2 queda completamente llena de agua, provocando un vortice constante.

El siguiente ensayo fue realizado con la misma geometría, ubicación de mascarar y escalón en la misma posición, a diferencia de la colocación de una placa al centro transversal a la mascara 2 que elimina la presencia de vortices en cualquier momento, ésta modificación viene de estudios ya antes realizados

para la cavitación en las campanas para bombas, el resultado fue bastante favorable, eliminando en su totalidad la presencia del fenómeno, por lo cual se procedió de la misma forma pero ahora para la situación que lo solicita, en la siguiente fotográfica se muestra la modificación en la mascara 2 donde se colocó la placa.



Placa colocada al centro del baffle 2, para reducir la presencia del vortice.



Índices Obtenidos:

- Mediana:** 9.62 l/s
- Media:** 7.96 l/s
- Desv. Estándar:** 2.32 l/s
- Q máximo:** 10.79 l/s
- Q nominal:** 7.19 l/s
- Q mínimo:** 3.61 l/s
- Nivel Qmax:** 45.00cm
- Nivel Qnom:** 19.30cm
- Nivel Qmin:** 9.20cm

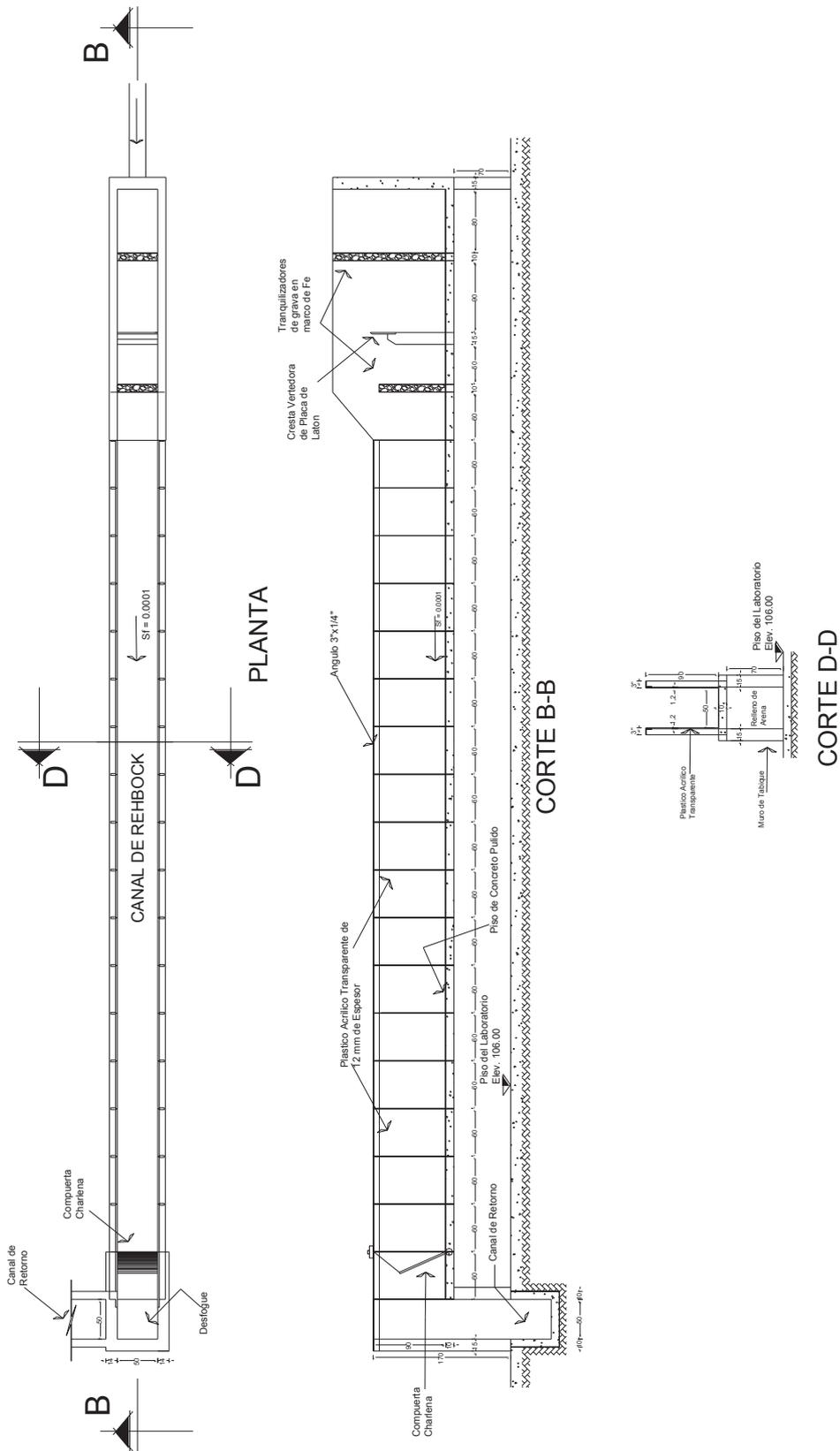
Con la colocación de la placa al centro de la mascara 2, reduce notablemente la presencia del vortice, dejándolo trabajar sin problema alguno y eliminándolo por completo.

Como se puede notar, en los ensayos realizados, en ningún momento interviene la influencia de la presencia del vortice, obteniendo ligeras pero insignificantes, aún, variaciones en el control de las entregas del módulo, por pequeños mililitros son apenas diferentes, lo cual comprueba que la presencia de vortices es indiferente en el funcionamiento del módulo.

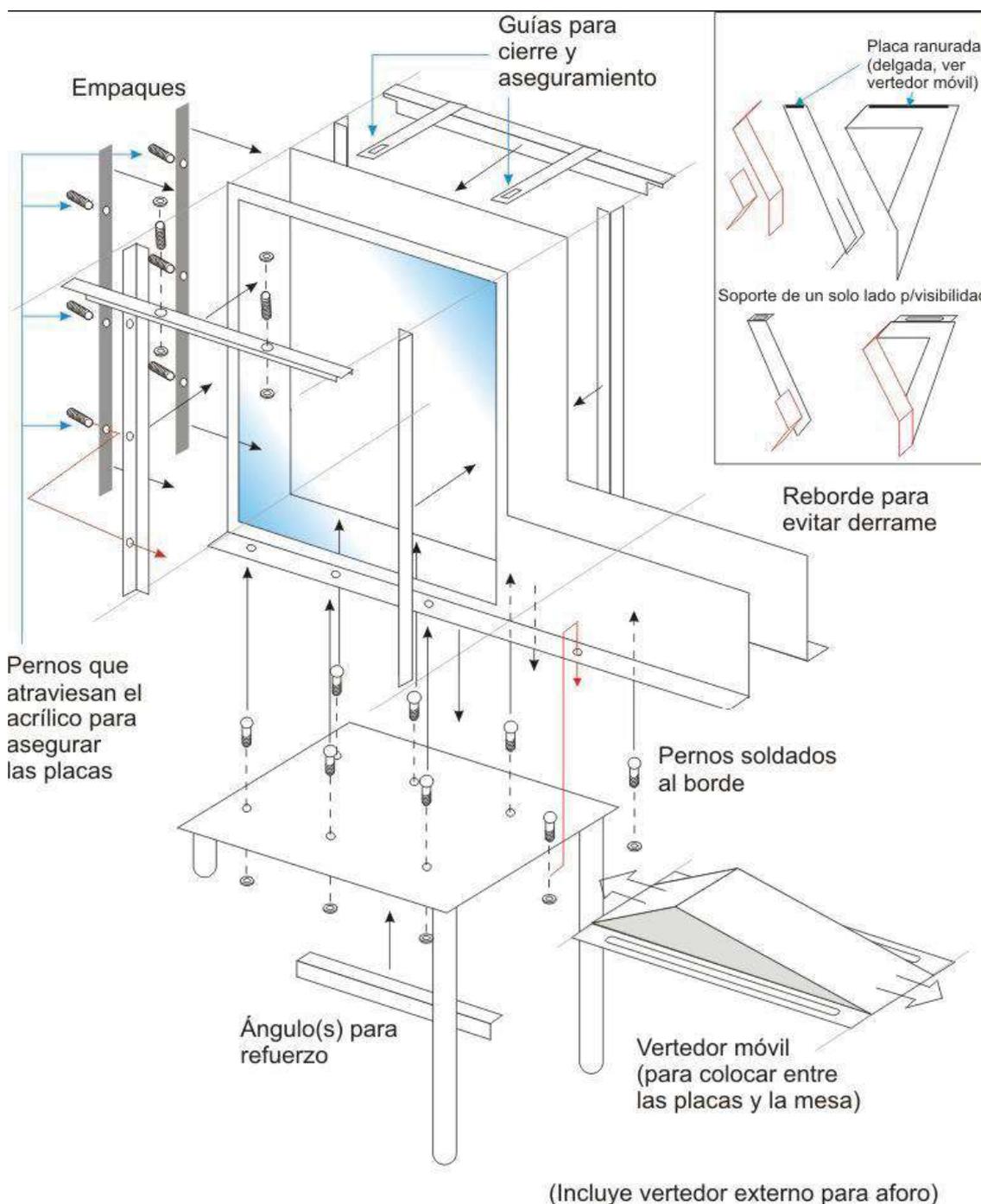
Uno de los aspectos que fueron observados en el desarrollo de las pruebas, es el empleo de materiales para la realización de las mismas, es en cierta instancia fundamental para los tiempos en los que se requiere que los resultados sean entregados, ya que al usar materiales, sobre todo de contacto, es indispensable un tiempo prolongado de espera para efectuar las mediciones y obtener resultados confiables, por lo que el uso práctico de material moldeable que permita un sello instantáneo para evitar fugas en el dispositivo fue de gran ayuda.

Por su parte sirvió también para notar que el módulo por sí mismo, puede soportar las fuerzas estáticas y dinámicas a las que es sometido, ya que al emplear adhesivos tan comunes como cinta de tela adhesiva, plastilina para modelación y epóxica, y finalmente silicón, soportan de manera aceptable los esfuerzos a los que es sometido el módulo, comprobando que el uso de soldaduras en toda la estructura es meramente por necesidades constructivas más que de un diseño de la estructural para soportar las fuerzas que intervienen en su funcionamiento, ya que en un cálculo rápido realizado, despreciando las fuerzas de fricción, que se consideran prácticamente cero al tener paredes lisas de acero, y del peso que se encuentra dentro de la estructura al circular el agua en condiciones normales, es soportado por la plantilla del empotramiento del módulo, nos queda una fuerza dinámica que sumada a la de presión estática es de aproximadamente 2 Kg. que para un solo punto de soldadura bastaría, sin embargo, la fabricación del módulo completo siempre se usará cordones de soldadura a lo largo de los elementos que quedan unidos a las pantallas, ambas mascararas, para obligar a que el agua escurra por las partes que quedan libres de ellas y funcione bajo sus principios sin fuga alguna.

Apéndice de figuras.

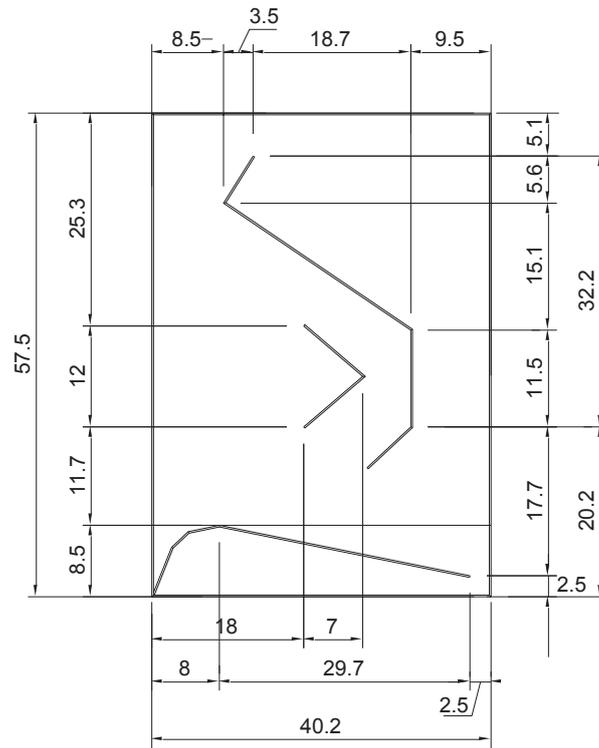


Plano del Canal de Rehbock.

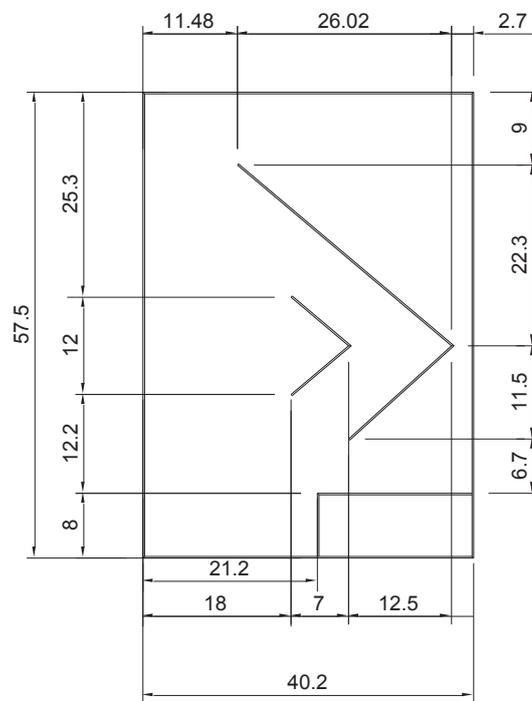


Plano 1. Esquema gráfico de la construcción y ensamble del módulo

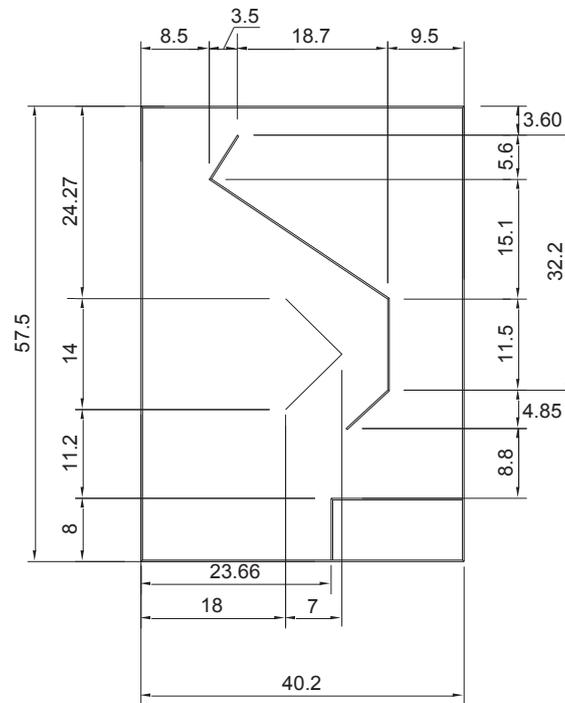
Alternativas



Plano 2. Módulo Original.



Plano 3. Módulo Modificado.



Plano 4. Módulo con modificación a la geometría comercial.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Dentro de la Ingeniería Civil, la Hidráulica como una de las ramas más importantes y jóvenes en el área, el aporte de nuevas estructuras o el mejoramiento de las existentes, que ayuden a la preservación de un recurso tan indispensable, como el agua para las actuales y futuras generaciones, es de importancia vital, por lo que queda claro que el avance en cuanto a los estudios de las mismas, por mínimo que sea, para el mejoramiento de elementos que intervengan directamente con el abastecimiento y saneamiento del agua, quedaran dispuestos a ser superados hasta que estos ya no puedan ser mejorados y ayuden en gran instancia a tener óptimos sistemas de dotación y crear conciencia de lo indispensable que es la inversión de recursos económicos, en el avance de la preservación de tan preciado recurso.

En el presente trabajo, se tratan puntos bastante sensibles en cuanto al mejoramiento de las estructuras, ya que en muchos de los casos, en México actualmente, los sistemas de abastecimiento, principalmente para el sector agrícola, aun le falta mucho por crecer en el aspecto de la conciencia sobre la cultura del cuidado al agua, ya que muchas veces no se cuenta con la infraestructura adecuada para el suministro del líquido, quedando tan vulnerable al mal empleo por parte de los mismos usuarios, al desperdiciar grandes cantidades de agua por las malas asesorías o la falta de cultura, en otro caso, simplemente por no contar con un sistema que sea eficiente y mantenga al margen a los usuarios, con la satisfacción que requieren y demandan.

Por su parte, el estudio mediante la experimentación, en la Hidráulica, queda por demás dotado de buenos resultados, al poder recrear e incluso igualar situaciones en las que muchos elementos de aforo quedan en operación, lo cual permite hacer nuevos estudios sobre el desempeño de las existentes, como es el de éste caso, contando con una primera fase de desarrollo experimental, en la cual se obtuvieron resultados que ayudaron al estudio de nuevas variables que intervienen en el funcionamiento del dispositivo, quedando expuestas a ser aún mejoradas, por su parte, el estudio de la optimización experimental del módulo aquacontrol, cumplió de manera satisfactoria con los aspectos a evaluar en cuanto a la optimización de las variables que se pretendían mejorar, dejando como resultado un vestigio de que aún la geometría pudiera ser superada, ya que en muchos de los ensayos se muestra un comportamiento semejante, independientemente del arreglo, que pudiera estar omitiendo algún elemento que se presente en el objetivo y supere las expectativas arrojando un mejoramiento en cuanto la ubicación de los elementos físicos del módulo. Ya que si se observa cuidadosamente, las gráficas parecieran tener un patrón en cuanto a los controles que se tienen independientemente de sus valores numéricos, lo cual indica que existe una relación directa en el uso de las dos mascararas cual sea su morfología.

El estudio experimental llevado a cabo en el laboratorio, muestran los resultados satisfactorios que se pueden tener al contar con las instalaciones adecuadas para realizar las pruebas que requerían de variar las condiciones con las que funciona el módulo originalmente, mismas que fueron en cierta instancia mejoradas para adecuarlo, constructivamente hablando, a uno mucho más práctico de fabricar y obteniendo, aún por demás, óptimos resultados con una geometría simple.

Por su parte, la visualización del fenómeno de vorticidad durante el desarrollo de cada ensaye, trató de encontrar una relación directa con la ubicación de las mascararas, buscando en cada acomodo eliminarlo, nunca se consiguió hasta que fue utilizado un elemento nuevo dentro de una de las mascararas, dejando claro en las pruebas, que la existencia ó ausencia del fenómeno es indiferente a los resultados obtenidos y las variables en estudio, aunque hablando en aspectos prácticos, la presencia de un vortice no siempre es causa de desmejoras en el funcionamiento hidráulico de las estructuras donde suele presentarse, en este caso, ya que en muchos de los canales se cuenta con la presencia constante de material flotante y sedimentos en suspensión, pudiera ayudar al mantenimiento, por así decirlo, del módulo, ya que genera suspensión de sedimentos al formarse que pueden ser arrojados por el módulo gracias a su funcionamiento hidráulico mediante la vena que busca la salida por el escalón en forma natural, o la posibilidad de que algún objeto quedara atrapado dentro del módulo interrumpiendo su funcionamiento.

La variación del flujo dentro del canal, sin duda alguna es una de las principales variables que quedaron al descubierto, al influir de manera directa en el control de entregas con respecto a varios de los ensayes que se realizaron, lo que deja en claro, que la velocidad dentro del canal, es de influencia total para el funcionamiento del módulo, obteniendo entregas mucho más constantes cuando éste lleva un flujo lento y sin turbulencia, y una total irregularidad cuando el flujo es rápido y turbulento, ya que la presencia de velocidades excedentes a las de operación en el escalón quedan superadas y muestran una desventaja en el gasto que puede por sí mismo arrojar el módulo, dando entregas inconstantes debido a la irregularidad sobre la carga que existe sobre el escalón horizontal.

Queda claro que el funcionamiento, independientemente de las geometrías probadas, es aún el esperado, ya que en todo momento y con cualquier geometría se pueden obtener entregas bastante buenas en cuanto al control de niveles, que cualquier otro dispositivo dejaría por demás sobradas o escasas en muchos casos, lo cual indica que los elementos en conjunto, cual sea su geometría, interactúan de forma favorable al provocar contra flujos y pérdidas que ayudan a mantener un control en las entregas de gasto en todos los ensayes.

La mejora de elementos que permiten la regularización y efectiva dotación del líquido, quedan a disposición de nuevos proyectos que ayuden a encontrar nuevas alternativas que optimicen el funcionamiento de las ya existentes, que para el caso, es lo que pretende en primer instancia buscar el presente trabajo, por lo que las instalaciones experimentales permiten recrear las condiciones en las que opera el módulo aquacontrol de una manera bastante cercana a las condiciones reales, y además de contar con una primera fase de desarrollo en la cual se buscaba un geometría mas eficiente y menos costosa, lo que la hace factible en el mercado y por consecuencia, un elemento comercial que permita tener una mejor control sobre la regularización del abastecimiento de agua para el sector agrícola principalmente.

Nunca debería quedar sujeta a discusión, la gestión de recursos para la investigación en cuanto a la mejora de estructuras que hacen la repartición del recurso en el sector agrícola, ya que por mucho, los problemas que se tienen en la actualidad son mucho más costosos, significativamente hablando, que la inversión de recursos en estudios que permitan optimizar en la infraestructura que ayude a mejorar la calidad en cuanto a las demandas.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Hernández Saucedo F. R., Sánchez Bravo J.R.: **“Manual para diseño de zonas de riego pequeñas”**; Ed. Departamento de Irrigación, UACH; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1997

García Villanueva N. H.: **“Estructuras Fluidicas para la Automatización de Canales, Manual Práctico”**, Coedición: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1997; Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca; Comisión Nacional del Agua; Primera Edición, 1998

Ven Te Chow: **“Open-Channel Hydraulics, Hidráulica de los Canales Abiertos”**; Ed. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, Tokio, Japan; Primera Edición, Junio de 1982

Sotelo Ávila G.: **“Hidráulica General, Fundamentos. Vol. 1”**; Ed. Limusa; Primera Edición, 2002

Mataix C.: **“Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas”**; Ed. Oxford; Segunda Edición, 2002

Murria R. Spiegel. Ph.D.: **“Probabilidad y Estadística”**; Ed. McGraw-Hill; Primera Edición, Junio de 1999

Walpole R. E. y Myers R. H.: **“Probabilidad y Estadística”** ; Ed. McGraw-Hill; Cuarta Edición, Octubre 2000

Weimer R.C.: **“Estadística”** ; Ed. CECOSA; Séptima Edición, 2004.

Salkind N. J.: **“Métodos de Investigación”** ; Ed. Pretentice Hall, 1999