



DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
Facultad de Ingeniería

01162

3
2ej

PROPUESTA DE UN SIFON FLOTANTE COMO DISPOSITIVO
PARA DERIVACION DE GASTOS CONSTANTES

EDMUNDO PEDROZA GONZALEZ

T E S I S

PRESENTADA A LA DIVISION DE ESTUDIOS
DE POSGRADO DE LA

FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

COMO REQUISITO PARA OBTENER
EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERIA HIDRAULICA

CAMPUS MORELOS
1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A LA MEMORIA DEL DOCTOR

ENZO LEVI LATTES

Los estudios de maestría se desarrollaron gracias al apoyo económico de **CONACYT**

CONTENIDO

RESUMEN	1
OBJETIVO	2
CAPÍTULO 1	3
ASPECTOS GENERALES DE ALGUNOS DISPOSITIVOS DE CONTROL HIDRÁULICO	3
1.1 Vertedores	4
1.2 Aforadores	5
1.3 Compuertas	6
1.4 Dispositivos automáticos de control	6
1.4.1 Compuerta AMIL	7
1.4.2 Compuertas AVIO y AVIS	8
1.4.3 Compuerta de control entre dos niveles aguas arriba	9
1.4.4 Válvula de compuerta basculante	10
1.4.5 Deflectores	11
1.5 Propuesta del dispositivo sifón flotante	12
1.5.1 Generalidades sobre los sifones	12
CAPÍTULO 2	19
FASE DE LABORATORIO	19
2.1. Justificación	19
2.2. Diseño inicial del sifón	20
2.2.1 El sifón fijo de Tecamachalco	20
2.3. Diseño del sifón	23
2.4. Ensayos y modificaciones en laboratorio	25
2.4.1 Primer ensayo con el diseño inicial	26
2.4.2 Segundo ensayo. Aumento de flotación	27
2.4.3 Tercer ensayo. Adición	28
2.4.4 Cuarto ensayo. El mecanismo de movimiento vertical	30
2.4.5 Quinto ensayo. Eliminación de los hules de sello	33
2.5. Comportamiento hidráulico del sifón	35
2.6. Conclusiones de la fase de laboratorio	38

CAPÍTULO 3	40
-------------------	-----------

FASE DE CAMPO	40
----------------------	-----------

3.1	Objetivos de la fase de campo	40
3.2	<i>Desarrollo de las actividades</i>	41
3.2.1	Elección del material del sifón	42
3.2.2	Modificaciones al diseño de laboratorio	43
3.2.3	Modificaciones de la caja de flotación	43
3.2.4	Instalaciones auxiliares al sifón	45
3.2.5	Determinación de las medidas del sifón	45
3.2.6	Construcción del sifón	46
3.2.7	Adecuaciones en el sitio de colocación	47
3.2.8	Colocación del sifón	48
3.3	<i>Primeros ensayos de campo</i>	49
3.3.1	Correcciones al funcionamiento	49
3.3.2	Insuficiencia del caudal en el río	51
3.4	<i>Segunda serie de ensayos en campo</i>	51
3.5	<i>Pérdida del Sifón por una avenida extraordinaria</i>	52
3.6	<i>Ensayos finales en laboratorio</i>	52

ANEXO A		
ANÁLISIS METODOLÓGICO		
DE LA INVESTIGACIÓN		55

A.1	<i>Planeamiento y análisis metodológico del problema</i>	55
A.2	<i>Planteamiento y análisis de la hipótesis</i>	57
A.3	<i>Productos de una hipótesis</i>	60
A.4	<i>Ubicación de la hipótesis en el cuerpo del conocimiento e hipótesis involucradas</i>	61
A.5	<i>Técnicas de Solución</i>	63

ANEXO B		
CÁLCULO DE LAS MAGNITUDES		
Y POSICIONES DE LAS FUERZAS		
ACTUANTES EN EL MODELO		66

ANEXO C		
DETERMINACIÓN DE LA ESCALA		
DE LÍNEAS DEL PROTOTIPO		75

ANEXO D		
DISEÑO DEL VERTEDOR		77

ANEXO E		
COMPORTAMIENTO DEL RÍO CUAUTLA		79

ANEXO E FOTOGRAFÍAS	81
ANEXO G PLANOS CONSTRUCTIVOS	98
REFERENCIAS	114

INDICE DE LÁMINAS

1. Dos tipos de vertedor 4
2. Curvas típicas de funcionamiento de algunos dispositivos de descarga 5
3. Funcionamiento básico de una compuerta 6
4. Compuerta AMIL 7
5. Compuerta AVIO 8
6. Compuerta de control entre dos niveles definidos 9
7. Compuerta basculante 10
8. Funcionamiento del deflector 11
9. Partes de un sifón 13
10. Curvas características del funcionamiento de un sifón 15
11. Vertedor de embudo combinado con un sifón periférico 18
12. Sifón ensayado en Tecamachalco 22
13. Esquema básico de movimiento del sifón 24
14. Diseño inicial del sifón 25
15. Aumento de la caja de flotación 26
16. Cambio de la posición 27
17. Adición de contrapeso 28
18. Giro del sifón debido a los empujes hidrostáticos e hidrodinámicos 29
19. Movimiento vertical 30
20. Mecanismo de movimiento vertical 31
21. Modificaciones al sifón 32
22. Diseño final del sifón en laboratorio 34
23. Funcionamiento del sifón 36
24. Curva de funcionamiento del Sifón 37
25. Localización del sitio propuesto 42
26. Cámaras neumáticas en la caja de flotación 44
27. Resultados de los cálculos para determinar las medidas del sifón 45
28. Instalaciones auxiliares para la colocación del sifón 48
29. Rango de gastos del sifón 53
30. Clasificación del problema 56
31. Clasificación de la Hipótesis 59
32. Resultados de la ciencia 60
33. Ubicación de la hipótesis en el cuerpo del conocimiento 62
34. Programa de actividades 65
35. Medidas del bloque de unice 67
36. Medidas de la caja de flotación 68
37. Peso propio del sifón 69
38. Cuña de presiones en la pantalla del sifón 70
39. Posición del empuje hidrostático 71
40. Resumen de fuerzas de peso, de flotación e hidrostáticas 72
41. Volúmenes de control para el cálculo de los empujes hidrodinámicos 73
42. Empujes hidrodinámicos en el sifón 74
43. Tabla de medidas del vertedor 78
44. Comportamiento del río Cuautla 80

INDICE DE FOTOGRAFIAS

1. Modelo definitivo. Vista lateral 82
2. Modelo definitivo. Vista posterior 82
3. Modelo definitivo. Vista frontal 83
4. Mecanismo de movimiento vertical, cerrado 84
5. Mecanismo de movimiento vertical, abierto 84
6. Vista en conjunto del sifón y del mecanismo de movimiento vertical 85
7. Funcionamiento del sifón. Inicio del cebado 85
8. Ascenso del nivel de agua 86
9. El agua comienza a entrar por el orificio de inyección 86
10. Expulsión de la burbuja de aire 87
11. Cebado completo 87
12. Operación normal del sifón flotando a un nivel medio 88
13. Operación del sifón flotando a un nivel alto 88
14. Descebado del sifón 89
15. Vista lateral del prototipo construido con lámina galvanizada 89
16. Vista posterior del sifón construido con lámina galvanizada 90
17. Vista frontal del sifón en la estructura del canal de alojamiento 91
18. Vista posterior del sifón en el armazón 92
19. Vista frontal del canal de alojamiento revestido de lámina galvanizada 93
20. Condiciones originales del sitio de colocación del sifón 94
21. Colocación del sifón 94
22. Colocación del sifón 95
23. Operación del sifón 95
24. Operación del sifón 96
25. Pérdida del sifón por una avenida extraordinaria 97
26. Condiciones del sitio después de la avenida 97

INDICE DE PLANOS

1. Vista en planta del arreglo general 99
2. Corte longitudinal del arreglo general 100
3. Vista isométrica del conjunto 101
4. Corte transversal del sifón 102
5. Cubeta de salida del sifón 103
6. Vista en planta del mecanismo de movimiento vertical 104
7. Vista lateral del mecanismo de movimiento vertical 105
8. Caja de flotación 106
9. Pantalla frontal 107
10. Estructura de la pantalla frontal 108
11. Umbral del canal 109
12. Compuerta 110
13. Sujeciones 111
14. detalle de sujeciones 112
15. Sistema de deslizamiento 113

RESUMEN

El presente trabajo, es la descripción de un proyecto de investigación del Instituto Mexicano de Tecnología del agua, desarrollado bajo la supervisión del Dr. Enzo Levi Lattes. El punto de partida de la investigación, es la idea de que se requiere de control hidráulico en los canales de riego, para distribuir el agua con eficiencia¹. La propuesta concreta, es un dispositivo alternativo, cuya función esencial es la de contribuir a la regulación del agua, por medio de la derivación de gastos constantes, sin importar la variación de los niveles en la fuente de alimentación. La investigación se presenta como una tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería y se conforma con cuatro capítulos y seis anexos.

En el capítulo uno se mencionan algunos dispositivos que ayudan en el control hidráulico, sus características generales y los principios básicos de su funcionamiento

En el capítulo dos, se propone el sifón flotante y se hace una descripción detallada del proceso seguido para la consecución de un dispositivo de laboratorio con características tales, que su funcionamiento mecánico-hidráulico fuera lo suficientemente aceptable como para construir un sifón de dimensiones acordes a las requeridas en distritos de riego.

El capítulo tres, referente a la fase de campo, describe la colocación de un sifón flotante de 200 l/s en la margen derecha del río Cuautla, así como las pruebas que se le hicieron para detectar y corregir fallas en su funcionamiento.

De los seis anexos, los más importantes son los referentes al análisis metodológico de la investigación, a las fotografías del dispositivo y a los planos constructivos del sifón flotante.

1. Se define eficiencia como el aprovechamiento del agua sin desperdicio excesivo; evitando entrar en definiciones cuantitativas cuya explicación requiere un tratamiento del tema considerablemente extenso. Hecho que se desvía del objetivo del trabajo.

OBJETIVO

En lo que al objetivo del trabajo de investigación desarrollado se refiere, es importante aclarar y hacer énfasis, en lo siguiente.

El dispositivo, como elemento auxiliar en la regulación y control de la distribución del agua en los distritos de riego, o para cualquier otra aplicación (que bien la puede tener) podría adolecer de algunos defectos. Sin embargo, el proceso experimental llevado a cabo con el sifón , pretende, por encima de otros objetivos, **convertir una idea en un hecho concreto y tangible.**

Es decir, un dispositivo de descarga, que flote y se mueva con la variación del nivel del agua, evacúa gastos constantes, si permanecen constantes las otras variables de las cuales también depende.

Ello está bien, pero el planeamiento de ninguna manera informa sobre el tipo de dispositivo ni, mucho menos, de las características específicas del mismo. Pues bien, el objetivo esencial pretendido, es el hecho de proponer un dispositivo específico, en este caso un sifón flotante, y determinar las características mecánicas e hidráulicas del mismo, para que, efectivamente, descargue gasto invariable.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES DE ALGUNOS DISPOSITIVOS DE CONTROL HIDRÁULICO

El uso eficiente del agua de riego requiere, desde cualquier punto de vista, de control hidráulico en la distribución del recurso. Es decir, para poder estar en condiciones de llevar a cabo dicho uso eficiente se debe contar con dispositivos controladores o reguladores en los canales de distribución. Dichos controles son básicamente de dos tipos: indirectos y directos.

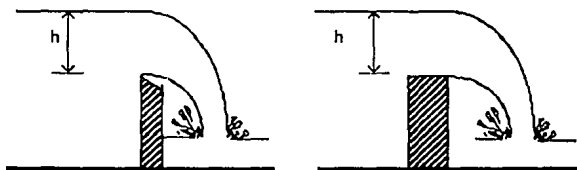
Los primeros, son aquellos que funcionan midiendo el caudal del agua, pero no regulándolo. En otras palabras, por su intermedio se conoce el gasto que circula por los canales, y si su magnitud es inadecuada respecto al caudal que debiera circular, se procede a la corrección, pero no por intermedio del medidor sino indirectamente. En general son dispositivos fijos y entre ellos se encuentran principalmente los vertedores y los aforadores de garganta.

Los controles directos son dispositivos que miden el caudal y por su intermedio sí se corrigen los gastos inadecuados, aunque dicha regulación puede no ser inmediata y necesitar de algún tipo de operador; o pueden ser dispositivos que corrigen la magnitud de los gastos directamente, y además, automáticamente. Analicemos algunos de tales dispositivos controladores.

1.1 Vertedores

Son dispositivos o estructuras que permiten determinar el caudal por el uso de fórmulas que dependen del tipo de vertedor y de las circunstancias hidráulicas. Todas las fórmulas expresan el gasto en función de la carga sobre el vertedor.

Lámina 1. Dos tipos de vertedor

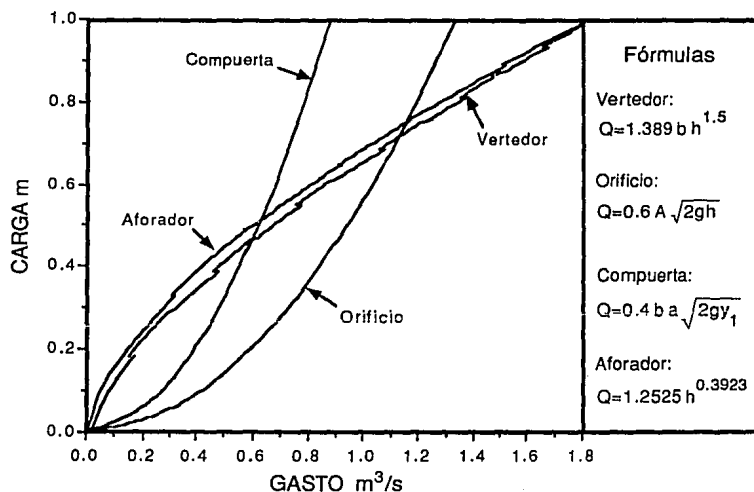


De hecho son poco usados en los distritos de riego porque provocan grandes remansos y depósito de materia en suspensión. Además, tienen muchas complicaciones para su ubicación por la exigencia de los requisitos necesarios para la correcta aplicación de las fórmulas. Los más eficientes entre estos vertedores son aquellos que tienen la cresta de gran longitud. Comúnmente se les llama vertedores de cresta larga y son menos sensibles a la variación de los niveles. En la lámina 2 se puede observar cómo varía el gasto descargado.

1.2 Aforadores

Son mucho más convenientes que los anteriores, provocan remansos no tan grandes y algunos tipos de ellos no propician el azolve (ie. aforador tipo Parshall, Skertchly, 1989). Su funcionamiento se basa en la creación de una sección de control por estrangulamiento, provocando el cambio de régimen del escurrimiento con la consecuente presencia del tirante crítico. Los aforadores y los vertedores, no son de regulación inmediata, por lo que la corrección de los gastos no puede ser realizada convenientemente.

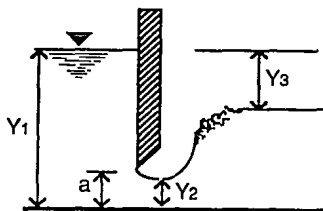
Lámina 2. Curvas típicas de funcionamiento de algunos dispositivos de descarga



1.3 Compuertas

Son placas generalmente de metal que permiten el paso del agua por debajo de ellas. Se logra el control modificando la apertura a mediante el desplazamiento vertical de la compuerta (ver lámina 3).

Lámina 3. Funcionamiento básico de una compuerta



Las compuertas son capaces de lograr un control instantáneo, aunque no automático, del gasto por su intermedio: la compuerta se abre para dejar pasar más gasto y viceversa. El movimiento implica la intervención de un tercer elemento, como puede ser la fuerza de un motor o de una persona.

1.4 Dispositivos automáticos de control

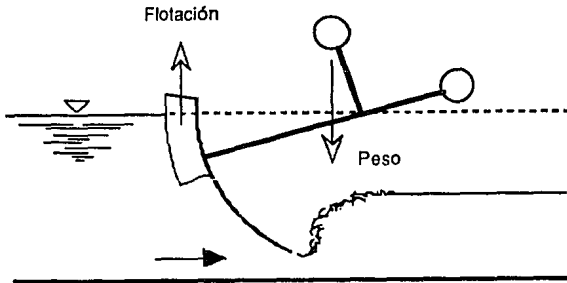
Estos dispositivos son directos y de control automático. Directos porque corrigen directamente el gasto y automáticos porque no requieren la ingerencia de elementos adicionales para su funcionamiento.

Todos los dispositivos que se mencionarán a continuación, si no se hace otra indicación, son dispositivos controladores de niveles, ya sea aguas arriba del dispositivo o aguas abajo del mismo; pero ninguno se propone como controlador de gastos derivados. Mencionado lo anterior, analicemos brevemente algunos dispositivos de control automático.

1.4.1 Compuerta AMIL

Esta compuerta es de tipo radial y mantiene niveles constantes aguas arriba de ella. Tiene un flotador localizado en la compuerta propiamente dicha, y está conectada a un centro de giro por medio de un brazo rígido, ver lámina 4.

Lámina 4. Compuerta AMIL



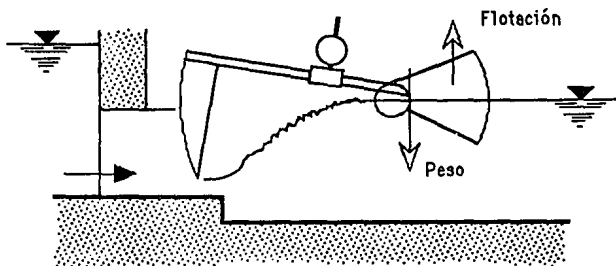
Si el nivel de aguas arriba sube, entonces la compuerta se levantará automáticamente y descargará mayor cantidad de agua hasta bajar otra vez al nivel inicial. Por el contrario, si el nivel baja, la compuerta también bajará y descargará menos gasto;

regresando al nivel original. El gasto máximo descargado puede ser hasta de 50 m³/s, en las compuertas ensayadas [3].

1.4.2 Compuertas AVIO y AVIS

Son compuertas radiales que controlan el nivel aguas abajo; la diferencia entre ambas es el rango de funcionamiento de cada una. A diferencia de la compuerta AMIL; en éstas, el flotador se encuentra en el extremo opuesto a la compuerta en el brazo que la sostiene (lámina 5).

Lámina 5. Compuerta AVIO



Las compuertas AVIO se colocan en un orificio, por lo que aceptan cargas más altas, mientras que la AVIS se coloca directamente en el canal. Si el nivel de aguas abajo descende, la compuerta se abre y restablece el nivel; lo contrario ocurre si el nivel de aguas abajo sube. El rango de gastos controlado por los modelos comerciales varía desde 0.75 m³/s hasta 60 m³/s.

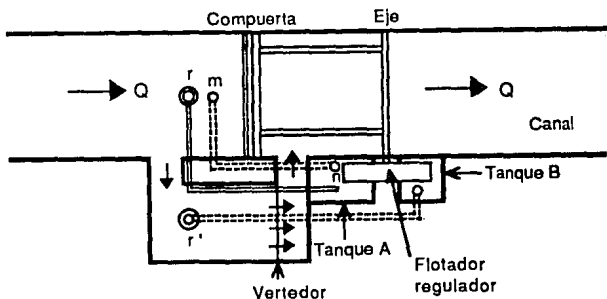
1.4.3 Compuerta de control entre dos niveles aguas arriba

Este tipo de compuertas tiene el objeto de mantener el nivel aguas arriba entre dos límites definidos [1]: uno mínimo que permita el abastecimiento satisfactorio de agua a las derivaciones aguas arriba, y otro máximo para impedir desbordamientos. En la lámina 6 se muestran, en planta, las partes de las que consta este tipo de compuertas.

Cuando el gasto de alimentación es suficientemente grande como para que el nivel del agua sobrepase el rebosadero r colocado en el canal, un cierto gasto es conducido al tanque A provocando el ascenso del nivel dentro de éste. Debido al incremento de presión sobre el flotador éste gira y con ello produce una abertura de la compuerta tal, que permita la salida del exceso de gasto hasta que el nivel en el canal descienda por debajo del rebosadero.

Por otra parte existe otro rebosadero r' colocado en una expansión lateral del canal y conectado con el tanque B. El nivel máximo en este tanque es el que permite el vertedor, por lo tanto, el nivel en el tanque B no varía.

Lámina 6. Compuerta de control entre dos niveles definidos

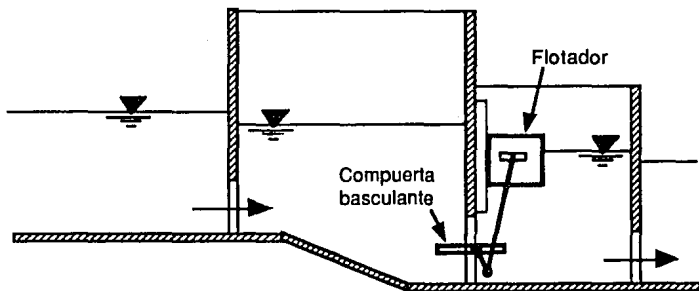


Si el gasto de alimentación es tan pequeño que el nivel del agua llegue a estar por debajo del rebosadero r' , el nivel en el tanque A igualmente bajará, por la conexión mn que existe entre ambos; y el del tanque B se mantendrá constante, de esta manera el flotador girará cerrando la compuerta hasta, eventualmente, provocar el cierre completo hasta que se recupere el nivel mínimo.

1.4.4 Válvula de compuerta basculante

Con objeto de mantener casi constante el nivel aguas abajo en una conducción a superficie libre, se puede utilizar una válvula de compuerta basculante [1] (ver lámina 7). La abertura de la válvula se controla a través de un flotador desplazable según sea el nivel que se desea mantener constante. Si el nivel sube, el flotador también y la válvula se cierra impidiendo la entrada del gasto de alimentación proveniente de aguas arriba. Si por el contrario, el nivel baja, la válvula se abre hasta que el nivel normal de aguas abajo se recupere.

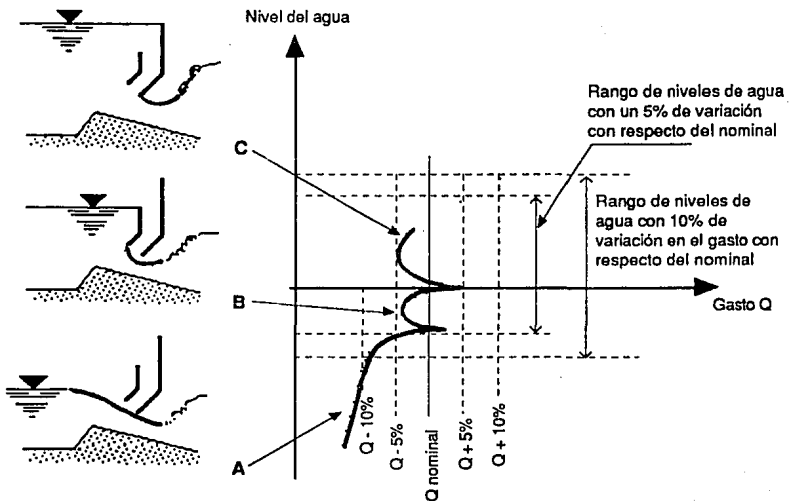
Lámina 7. Compuerta basculante



1.4.5 Deflectores

Estos dispositivos también son controladores directos del gasto, y se basan en la disminución gradual de la sección hidráulica real conforme aumenta el nivel de aguas arriba. Esto se logra por medio de un orificio provisto de una pantalla superior que desvía el agua (lámina 8). Al ir aumentando el nivel se obliga al agua a recorrer un camino tal, que se modifique la contracción que escurre por la parte baja de la pantalla, de manera que el ancho de la vena líquida se reduce y la sección de área hidráulica disminuye al mismo tiempo que la velocidad aumenta, con lo que el gasto queda más o menos constante. El funcionamiento hidráulico es irregular, como lo muestra la gráfica de la lámina 8, en donde se observa que la descarga varía en más o menos 10 % del gasto nominal, como máximo.

Lámina 8. Funcionamiento del deflector



1.5 Propuesta del dispositivo sifón flotante

De todos los dispositivos anteriores sólo los deflectores controlan el gasto derivado, y con algunas variaciones, como se ve en la lámina 8. Además, su utilización se limita a gastos pequeños.

A la fecha, en lo que se refiere a tomas parcelarias, se ha logrado hacer funcionar pequeños módulos de patente francesa que aseguran un gasto casi constante aunque la carga, aguas arriba, fluctúe hasta cerca de 20 cm; pero son para gastos pequeños [2].

Ante tal situación, se propone, como alternativa, un dispositivo que permita la descarga de gastos constantes, aún con variación de niveles.

La propuesta consiste en un sifón que siga la variación del nivel del agua en la fuente de alimentación para mantener la carga hidráulica constante; esto significa que el sifón debe ser flotante.

Se eligió un sifón flotante por diversos motivos. Primeramente se tiene la ventaja de la carga efectiva con la que trabaja el sifón, ya que ésta es más grande que la de otros dispositivos de descarga de tamaños parecidos, obviamente con el sifón completamente cebado. Otra ventaja es la facilidad de interrumpir el suministro, sin utilizar un dispositivo auxiliar, mediante el descebado del sifón.

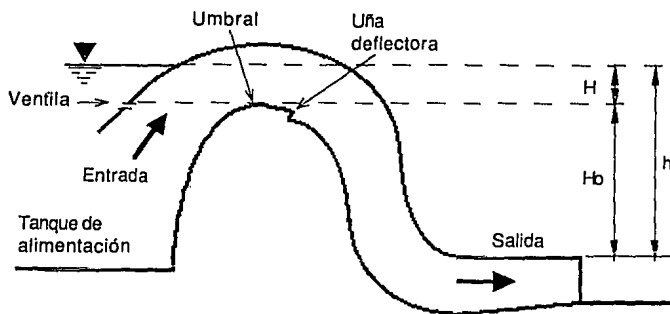
1.5.1 Generalidades sobre los sifones

Los sifones son dispositivos de control que pueden tener diferentes aplicaciones: como estructuras de desagüe en presas o para mantener más o menos constante el nivel del agua en un depósito e incluso como desarenadores automáticos, y combinados con

vertedores de embudo, sirven para mantener el nivel del agua en embalses.

Existen distintos tipos de sifones, pero en general, puede decirse tienen las siguientes partes: (a) entrada, la cual se acostumbra poner a una elevación menor que la del nivel normal del agua, para impedir la entrada de basura y aire; (b) umbral, que es la parte más alta del perfil inferior del sifón, su elevación generalmente coincide con la del nivel normal de la superficie libre del agua; y (c) salida, que puede ponerse en contrapendiente, lo cual favorece el cierre hidráulico necesario para el cebado del sifón.

Lámina 9. Partes de un sifón



En el funcionamiento de un sifón pueden distinguirse tres etapas fundamentales. En la primera, al subir el nivel del agua en el tanque de alimentación, el sifón funciona como vertedor. En la segunda etapa, al subir gradualmente el agua en la entrada de la estructura se produce el cierre hidráulico, gracias a la acción de dispositivos cebadores, que lanzan la vena líquida hacia la pared exterior del sifón.

A la carga H para la cual el sifón empieza a trabajar como conducto de a presión, una vez finalizada la expulsión del aire, se le conoce como carga de cebado dicha carga depende de la velocidad con que nivel de agua sube en el tanque de alimentación, o sea, del gasto de llegada y de las dimensiones del tanque.

Una vez que en flujo se ha establecido, el sifón puede seguir funcionando completamente lleno con valores de la carga H menores que H , por efecto de la succión que ejerce el agua en la parte baja de la estructura. Inclusive, para ciertos casos, la carga H puede ser negativa (tomando como nivel de referencia la elevación del umbral). A la carga para la cual un sifón previamente cebado deja de funcionar como conducto a presión se le llama carga de descebado H .

Opcionalmente, puede disponerse una ventilación (lamina 9) la cual se coloca al mismo nivel que el normal de la superficie libre y tiene por objeto interrumpir el efecto sifónico (de succión) al alcanzar dicho nivel. Son convenientes cuando se desea que el nivel en un depósito no varíe en un rango extenso.

Una de las más grandes ventajas de los sifones es su gran eficiencia como estructuras de desagüe. En efecto, en comparación con los vertedores, los sifones utilizan una carga efectiva ($h = H + H_0$) mucho mayor, lo cual permite desalojar gastos más grandes; a pesar de que en los vertedores el gasto es proporcional a la carga elevada a la potencia $3/2$ y en los sifones lo es a la carga a la $1/2$. Así, para determinar el gasto de un sifón funcionando con flujo establecido, se utiliza una expresión del siguiente tipo

$$Q = \mu A \sqrt{2g(H+H_0)}$$

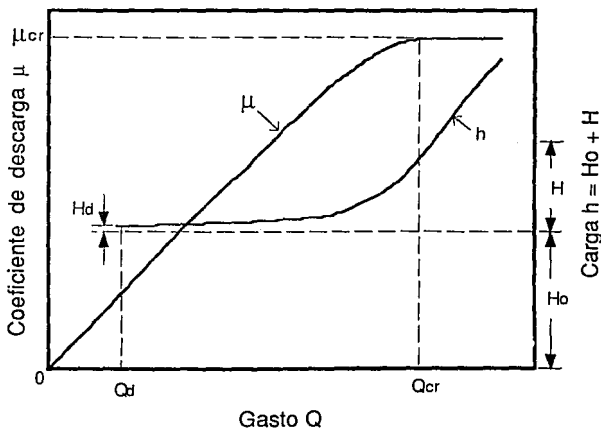
Donde:

- m, Coeficiente de descarga, variable según la carga, normalmente entre 0.4 y 0.7

- A, Área de la sección transversal (generalmente rectangular) comúnmente constante, de no ser así, se toma el valor del área transversal en la sección de salida.
- H, Desnivel entre la superficie libre aguas arriba del sifón y el umbral
- H_o , Desnivel entre el umbral y la elevación de la superficie libre aguas abajo del sifón
- h, Carga efectiva total, ($h = H + H_o$)

El uso de modelos físicos tiene una importancia fundamental en el diseño de sifones. El paso de los resultados obtenidos en modelo a prototipo, se lleva a cabo mediante el criterio de similitud de Froude. Así, con la ayuda de la experimentación pueden calcularse las curvas características de un sifón. Dichas curvas son dos: la primera representa la variación del coeficiente de descarga en función del gasto, $m(Q)$; y la segunda, la variación de la carga en función del mismo gasto, para flujo establecido, $h(Q)$. Las formas de las curvas, son parecidas a las que se muestran en la lámina 10.

Lámina 10 Curvas características del funcionamiento de un sifón



Al valor mínimo de la carga para la que un sifón puede cebarse, se le conoce como carga mínima de cebado $H_{c\text{mín}}$. Es decir, es la carga correspondiente al mínimo gasto para el cual el sifón puede trabajar completamente lleno. Para valores mayores de gasto, el tiempo que transcurre entre el inicio del funcionamiento del sifón y su cebado será menor. Para gastos menores, no obstante lo largo que pueda ser el período de tiempo que la estructura funcione, ésta no se cebará.

Tomando como base lo anterior, puede hablarse un poco más acerca del funcionamiento de los sifones. Considérese que al tanque de alimentación llega un gasto Q cuya carga de cebado correspondiente H_c . Si $Q < Q_d$ (gasto de descebado) la carga H (dependiendo de las dimensiones del tanque) puede crecer hasta alcanzar el valor H_c , el momento en el que el sifón se ceba y aumenta bruscamente su eficiencia en la descarga, por lo que H decrece hasta H_d , el sifón se desceba y el ciclo de funcionamiento vuelve a comenzar. Si $Q_d \leq Q \leq Q_c$, H crece continuamente hasta H_c y si $Q < Q_c$, decrece hasta el valor de la carga correspondiente a Q para flujo establecido. Si $Q > Q_c$, pueden presentarse dos casos: en el primero, si $H_c > H_{c\text{mín}}$, la carga H crecerá hasta alcanzar el valor de H_c y luego decrecerá hasta que tome el valor de la carga que corresponde a Q ; en el segundo caso, si $H_c = H_{c\text{mín}}$, la carga H se incrementará continuamente, llegando a H_c y luego adquiriendo el valor correspondiente a Q , para gasto establecido.

Si se desea que el nivel del agua en un almacenamiento no varíe mucho, conviene seleccionar un sifón que permita la variación del gasto entre el gasto de descebado y el crítico, ya que, según se observa en la lámina anterior, es la zona en que la carga, y por lo tanto el nivel, es menos sensible a las variaciones del gasto.

Por efecto de la succión que se ejerce en los sifones, dentro de este tipo de estructuras se presentan presiones menores a la atmosféricas, mismas que alcanzan su valor mínimo en el umbral y zonas cercanas a él. Debido a ello, y a la interacción que

puede existir entre sifones que trabajan cercanos, pueden presentarse vibraciones cuyos efectos vale la pena evaluar al estudiar en modelo el comportamiento de este tipo de estructuras.

Los problemas mencionados en el párrafo anterior se intensifican al utilizarse dispositivos cebadores convencionales, como uñas deflectoras, geometrías en "S", o la combinación de ambas. Ello debido a que tanto en la zona inmediatamente atrás de la uña y en los puntos de máxima curvatura de los sifones en "S", se presentan subpresiones considerables.

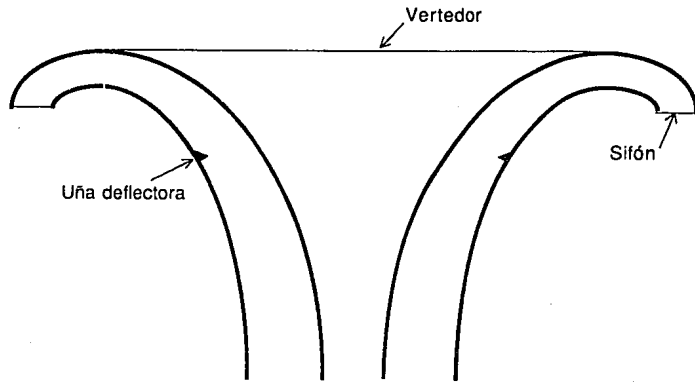
Vale la pena mencionar otra aplicación interesante de los sifones. Combinados con vertedores de embudo (lámina siguiente) permite limitar la sobreelevación en el embalse a la carga de cebado del sifón, lo que hace posible reducir bordos libres.

Algunos inconvenientes que pueden presentarse con el uso de los sifones son:

- No pueden desalojar objetos flotantes grandes
- La vibración que generan pueden afectar estructuras aledañas.
- La posibilidad de obstrucción de la ventilación o del propio sifón.
- Los incrementos y decrementos bruscos en la descarga pueden erosionar la zonas aguas abajo de la estructura.

Esto último puede evitarse si se colocan sifones escalonados que se ceben y desceben sucesivamente lo que permite una mejor regulación de niveles y gastos.

Lámina 11 Vertedor de embudo combinado con un sifón periférico



CAPÍTULO 2

FASE DE LABORATORIO

2.1. Justificación

El estudio en laboratorio, por medio de un modelo, es importante en cuanto que el control sobre los experimentos es relativamente simple. Hablando específicamente del dispositivo que nos ocupa (sifón flotante) las dimensiones del modelo utilizado son las de un prisma rectangular de sesenta centímetros de largo por treinta de ancho y cincuenta de alto, aproximadamente, además tiene un peso cercano a los 25 kilogramos. Estas magnitudes son factibles de manejarse, en cuanto a traslados, colocaciones y correcciones, se refiere. El prototipo resultó unas cuatro veces mas grande que el modelo y unas diez veces más pesado. Para efectos de experimentación su manejo sería, a todas luces, un problema .

2.2 *Diseño inicial del sifón*

El diseño original del sifón surge de los experimentos que en 1951 realizara el Dr. Enzo Levi Lattes en la antigua Dirección General de Estudios y Proyectos de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, en su laboratorio de Tecamachalco. El objeto principal de los ensayos fue el estudio de un nuevo dispositivo para el cebado del sifón [6].

La Secretaría había visto la conveniencia de emplear sifones en canales para la conducción del agua de riego, y por esa razón, realizó un estudio comparativo entre varios de ellos.

Fue en relación con dichos estudios que el Dr. Levi ensayó un sifón propuesto por él, considerando que, por ciertas características novedosas, como el cebado rápido, podría tener algún interés para los hidráulicos.

2.2.1 El sifón fijo de Tecamachalco

Condición esencial para el buen funcionamiento de un sifón es su cebado rápido, lo que se logra acelerando el desalojo del aire contenido en la parte alta de su interior, a medida que el dispositivo se va llenando de agua.

Hasta ese entonces existían varios tipos de cebadores, todos ellos apoyados sobre la idea de crear una cortina de agua de un lado a otro de las paredes del sifón y con ello lograr que el aire, subdividido y rodeado de paredes de agua, se emulsionara fácilmente y fuera expulsado.

El dispositivo más empleado era un ña deflectora que lanza el agua hacia adelante provocando con ello el sello, en cuanto que está colocada aguas abajo de la parte alta

del intradós. Es conveniente, pero requiere la presencia de una uña deflectora, aguas abajo de la cual puede producirse cavitación.

Otro artificio para el cebado es la construcción del sifón en forma de S, con lo que la lámina selladora cae por gravedad. En este sistema, combinado con la uña deflectora, se inspiró un tipo especial de sifón recomendado por el *U. S. Bureau of Reclamation*, que fue adoptado en México para el desfogue de las excedencias del canal principal de la presa Marte R. Gómez (anteriormente llamada El Azúcar).

Los ensayos en modelo hidráulico de este sifón arrojaron varios resultados. En primer lugar se detectaron zonas de riesgo de cavitación por exceso de depresión en la zona de máxima curvatura del intradós. Por otro lado, la uña deflectora puede, como antes se dijo, producir cavitación después del cebado.

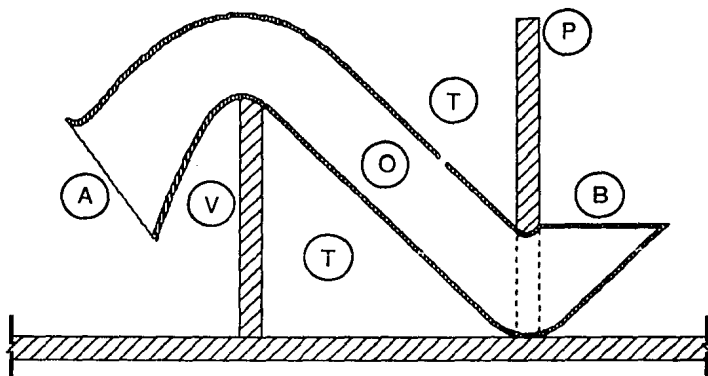
De lo anterior se desprende que el cebador ideal sería aquel que una vez efectuada su función "desaparezca" durante la fase de trabajo normal de la estructura. Esta característica la posee el sifón del Km 45 del canal principal de Conchos (distrito de riego de Delicias), proyectado por el Ing. Oscar Vega Argüelles, en el cual se lleva agua por una tubería lateral hasta una cámara ubicada encima del extradós, con el que se comunica por un orificio transversal. De éste cae el chorro que realiza el sello hidráulico. Este arreglo hidráulico tiene la desventaja de que la carga disponible para producir el chorro es pequeña, con la consecuencia de que también es reducida la energía.

El diseño del Dr. Levi se basa en el principio de aprovechar la presión máxima para el chorro sellador y, por otro lado, que es de construcción económica y de fácil mantenimiento. Esto se logró alimentando el orificio inyector por un tanque en el que el agua alcanzaba el mismo nivel que en el canal aguas arriba y por la disposición del orificio en el nivel más bajo posible, al mismo tiempo que se le dio al conducto una forma más sencilla.

Las características hidráulicas del prototipo fueron las mismas, a escala 1:20, que las utilizadas para el sifón en forma de S proyectado para el canal de Anzaldúas en su cruce con el dren Reynosa, Distrito de Riego del Bajo Río Bravo, Tamaulipas; es decir, sección rectangular de 2.5 por 1.35 m, desnivel entre cresta y salida de 3.63 m y gasto máximo de 16.2 m³/s.

El sifón ensayado consistía en una tubería rectangular de pendiente 1:1, con curvas circulares en la bocina de salida y parábolas homofocales en la bocina de entrada, éste último con objeto de lograr mejor convergencia de los filetes líquidos. Ver lámina 12.

Lámina 12. Sifón ensayado en Tecamachalco



El agua llegaba por el canal A hasta alcanzar el nivel de la cresta del intradós y luego salía por B al mismo tiempo que descargaba sobre unos vertedores V colocados en ambos lados del sifón. Con ello se llenaba el tanque T, cerrado aguas abajo por la pantalla P, formándose, a través del orificio, el chorro dentro del sifón.

El principal objetivo de estos ensayos fue la determinación óptima del ancho del inyector para el cual se debería tener la carga mínima de cebado. Igualmente se hicieron pruebas con presiones dentro del sifón y se varió la longitud de la bocina de salida para conseguir la carga de cebado mínima.

2.3 Diseño del sifón

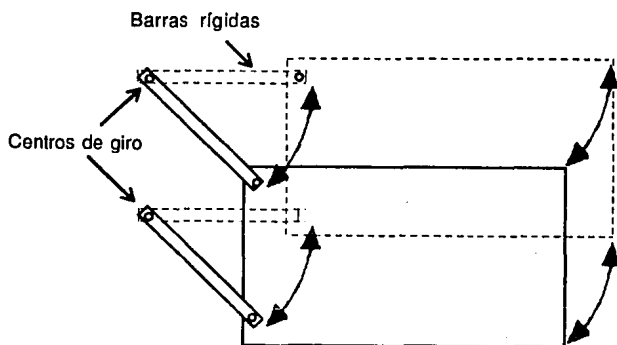
La disposición del sifón fijo de Tecamachalco, con ciertas modificaciones pertinentes, es la base del diseño del sifón flotante. Las modificaciones más notorias se realizaron en la transición de entrada. Las parábolas homofocales se sustituyeron, con fines de simplicidad constructiva, por arcos de círculo y segmentos rectos. La bocina de salida se mantuvo sin cambios, así como el orificio inyector de cebado.

Las modificaciones necesarias para lograr el movimiento de flotación tienen dos objetivos principales: mantener la verticalidad del dispositivo durante la flotación para evitar que varíe la carga hidráulica entre la entrada y la salida, y sellar las fugas que se presentarían al no permanecer fijo el sifón.

Se decidió utilizar el material conocido como acrílico cristal para la manufactura del sifón. Esto permite observar directamente lo que ocurre en el interior del dispositivo.

Se propuso mantener la verticalidad con un sistema de palancas y puntos de pivoteo de tal manera que, todas las líneas verticales y horizontales se mantienen como tales, excepto las propias palancas. Obviamente el desplazamiento resultante sigue una trayectoria curva muy parecida a la circular. El movimiento básico es presentado esquemáticamente en la lámina 13.

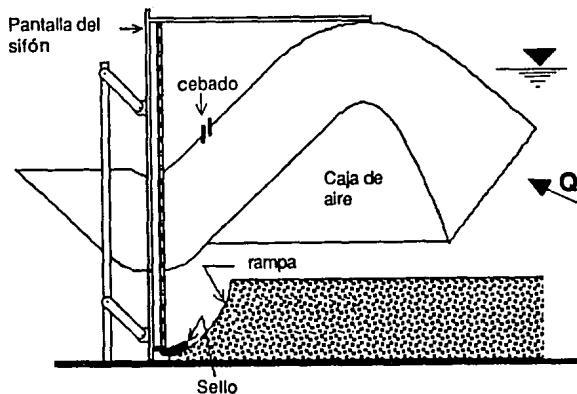
Lámina 13. Esquema básico de movimiento del sifón



Por lo que respecta al sellado de las fugas se adicionó al sifón una pantalla con hules en las partes laterales e inferior. Esta pantalla sigue al sifón en su movimiento y para evitar las fugas por la parte inferior, se hizo necesaria la colocación de una rampa con un perfil curvo que seguía el recorrido de la arista inferior de la pantalla, de modo que el sello de hule que protegía dicha arista siempre estuviera en contacto con ella.

El esquema de la lámina 14 muestra el diseño que se escogió para iniciar los ensayos en laboratorio. Las medidas del mismo y el rango de gastos a descargar, se eligieron en función de las dimensiones del canal del laboratorio donde se instalaría y el caudal que por éste último se podría conducir.

Lámina 14. Diseño inicial del sifón



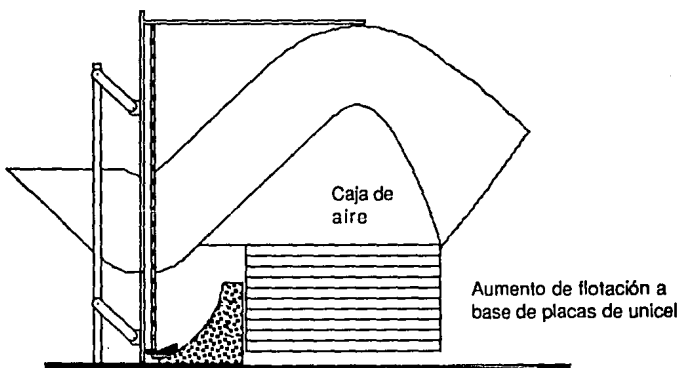
2.4 Ensayos y modificaciones en laboratorio

El funcionamiento mecánico-hidráulico que se pretendía era el siguiente. Consideremos inicialmente al sifón en la parte más baja posible y sin agua. Al llegar el agua se debería iniciar un ascenso provocado por la flotación del sifón. El incremento gradual del nivel del agua generaría el desagüe por el interior del sifón como vertedor, y, al mismo tiempo, el autocebado gracias a la ranura de inyección. Todo esto sucedería con el sifón en la parte más alta debido al poco peso que presenta cuando no está lleno de agua. Al cebarse, debería aumentar de peso y descender hasta un nivel tal en el que las fuerzas de peso serían iguales a las fuerzas de flotación. Después de esto, si el nivel del agua baja se reduce el empuje hidrostático sobre el sifón, y por lo tanto las fuerzas de peso son mayores que las de flotación, apareciendo en el conjunto un desequilibrio dinámico que permanece hasta que el sifón, al descender, encuentre el nivel de flotación de equilibrio. Lo contrario pasa al elevarse el nivel del agua: ahora las fuerzas de flotación son más grandes que las de peso y esto debe elevar al sifón hasta reencontrar el nivel de flotación inicial.

2.4.1 Primer ensayo con el diseño inicial

Se decidió llevar el experimento como un proceso de prueba y error, por lo que se procedió a colocar el sifón en el canal y realizar pruebas con objeto de ir corrigiendo las fallas. El primer ensayo no fue exitoso. El sifón se cebó eficientemente pero no se movió de ninguna forma. La primera sospecha de la causa de la falla recayó sobre la incapacidad del flotador para generar el empuje ascendente requerido. Por tanto se procedió a aumentar el volumen del mismo. Esto generó modificaciones en la rampa inferior, ya que se requirió remover gran parte de ésta para alojar el aumento de volumen del flotador. La lámina 15 muestra tales modificaciones.

Lámina 15. Aumento de la caja de flotación

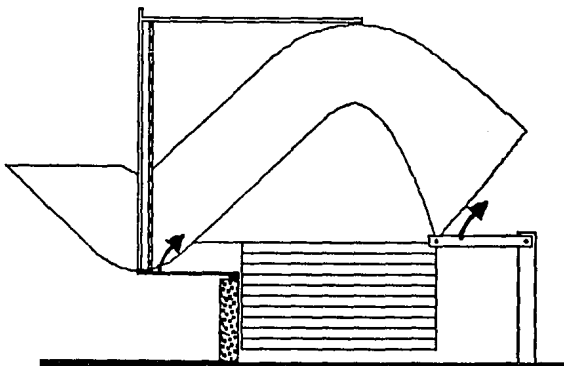


2.4.2 Segundo ensayo. Aumento de flotación

El segundo ensayo arrojó los mismos resultados, contrariamente a lo esperado. Es decir, el sifón no flotó y adicionalmente se rompió la pantalla debido a la magnitud del empuje hidrostático que recibía. Entonces se desconfió de la eficacia del sistema de pivoteo: un análisis somero de las fuerzas que intervienen en el movimiento pretendido indican que la trayectoria, al ser semicircular, tiene componentes verticales y horizontales, mientras que la fuerza de flotación es únicamente vertical; por lo tanto, no existe una fuerza horizontal que desplace al sifón en ese ese sentido.

Ante lo anterior se modificó el sistema de pivoteo. Se sustituyeron los brazos inferiores por placas y se fijaron los centros de giro aguas arriba. El movimiento, una vez hechos los cambios, era esencialmente igual al anterior, con la diferencia de que el empuje hidrostático sobre la parte baja de la pantalla oponía menos resistencia al movimiento circular del sifón. Las modificaciones se muestran en la lámina 16.

Lámina 16. Cambio de la posición

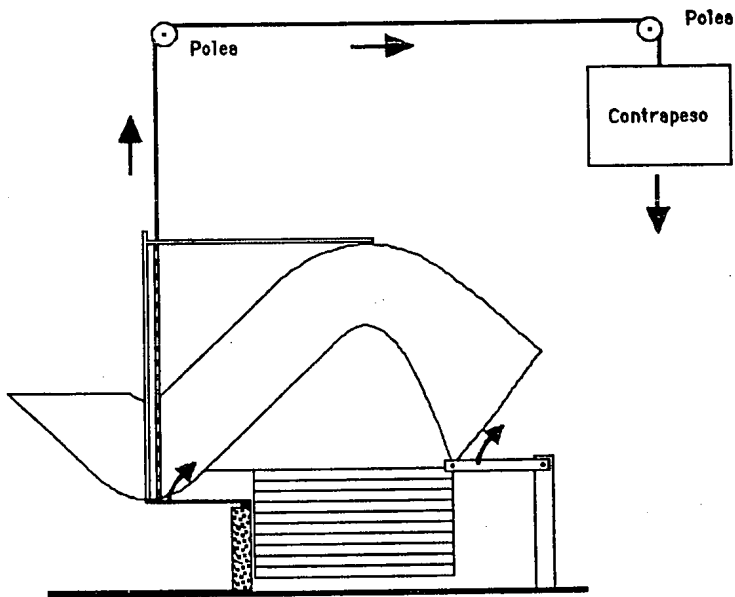


Los resultados fueron nuevamente negativos. El sifón tampoco se movió. Para este ensayo se replanteó la insuficiencia del flotador, y como era complicado adicionar más flotadores, se pensó en utilizar un contrapeso que auxiliara al sifón en su movimiento vertical.

2.4.3 Tercer ensayo. Adición

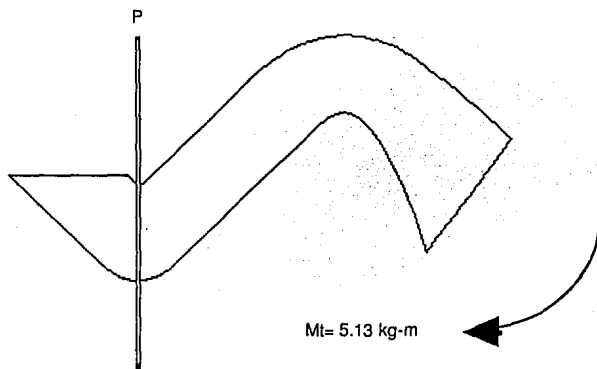
El contrapeso se movió por medio de un sistema de poleas colocadas en la parte superior del sifón, tal como se muestra en la lámina 17.

Lámina 17. Adición de contrapeso



Aún este incremento de peso, que llegó a ser de aproximadamente 30 kg, no fue suficiente para levantar el sifón. Sin embargo, el ensayo sirvió para hacer algunas observaciones: por un lado, se comprobó que el sello de hule genera una fricción considerable en el contacto con las paredes, y por otro, se realizó un análisis del comportamiento de las fuerzas actuantes en todo el sistema, los cálculos pueden verse en el anexo B y el resultado se muestra a continuación.

Lámina 18. Giro del sifón debido a los empujes hidrostáticos e hidrodinámicos



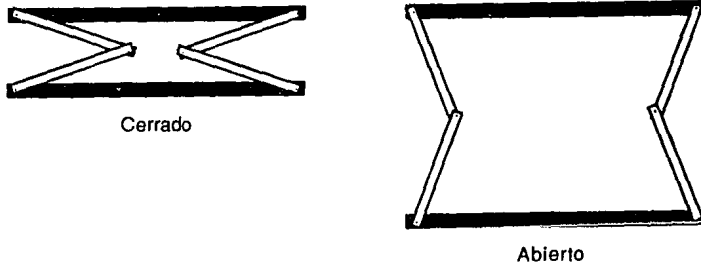
De acuerdo con los cálculos se encontró que el conjunto de pantalla y sifón se encuentra sometido a un momento M_t de 5.13 kg-m por lo que se explica, en gran parte, el mal funcionamiento del sifón respecto del movimiento pretendido.

Ante lo anterior surgió la idea de adoptar un sistema de sujeción del sifón que pretendía cubrir dos funciones esencialmente: movimiento vertical y resistencia al giro.

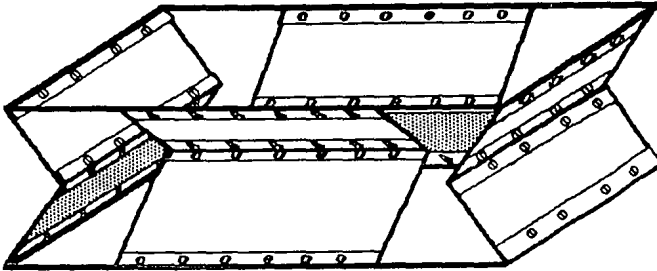
2.4.4 Cuarto ensayo. El mecanismo de movimiento vertical

El sistema propuesto es simple, y está basado en el funcionamiento de un fuelle. Se trata de cuatro barras rígidas con ejes de giro en seis puntos. El esquema de la lámina 19 muestra el movimiento que se pretendía con objeto de obligar al sifón a desplazarse únicamente en sentido vertical.

Lámina 19. Movimiento vertical



El sistema se llevó a la práctica por medio de una serie de placas unidas con bisagras continuas para permitir el giro. La lámina 20 y las fotos 4 y 5 del anexo fotográfico, muestran el sistema en detalle.

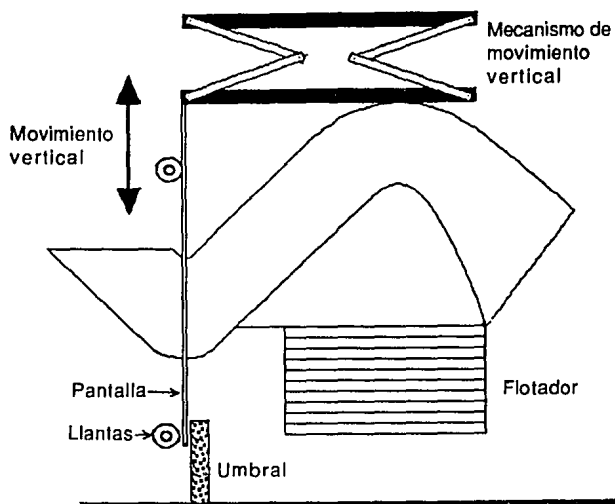


Adicionalmente se instalaron cuatro pares de llantas, que apoyadas sobre la pared del canal, auxiliarían al mecanismo de movimiento vertical en caso de que el sifón presentara desplazamientos, o empujes horizontales, que el mecanismo no pudiera equilibrar.

Al ser el desplazamiento únicamente vertical, la rampa semicircular de la parte inferior se sustituyó por un umbral vertical que serviría para obstaculizar el paso del agua al momento de subir la pantalla del sifón. Todas las modificaciones hechas al sifón se pueden ver en la lámina 21.

Colocado el sifón se procedió a probarlo. Ahora el funcionamiento fue mucho mejor: el sifón se movió en sentido vertical únicamente. Sin embargo, el inicio del desplazamiento fue difícil y el nivel de flotación no fue el adecuado. Esto se explica por el hecho de que un cuerpo requiere mayor fuerza al iniciar un desplazamiento que la requerida para mantenerse en movimiento.

Lámina 21. Modificaciones al sifón

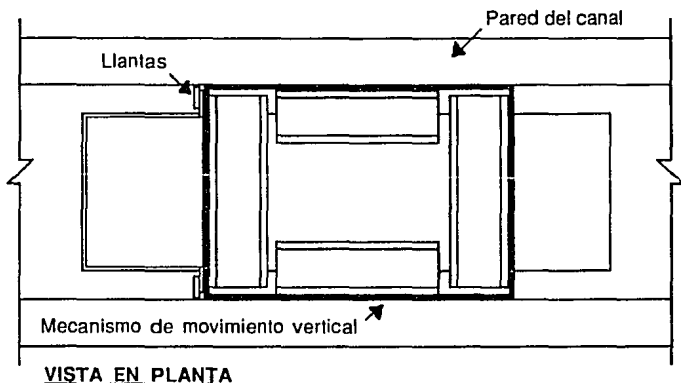
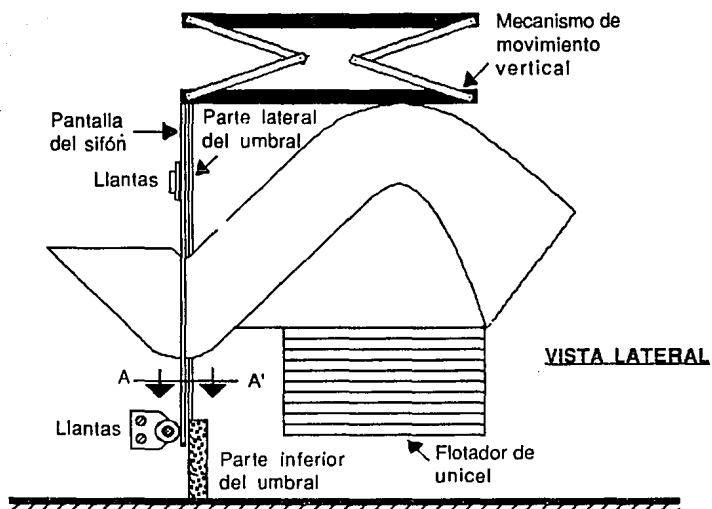


Tratando de resolver este problema se añadieron placas de unigel en la parte inferior, con lo que se logró la flotación y el sifón subió hasta el límite de su desplazamiento en la parte superior, venciendo la fricción de los hules de sello; pero una vez hecho esto, fue claro que el sifón flotaba demasiado dado que se descebaba. La solución fue simple pero no muy cómoda: se eliminaron los hules de sello y de esta manera el inicio del desplazamiento fue más fácil, por lo que se pudo lograr que el sifón flotara menos; pero se tuvieron que aceptar fugas.

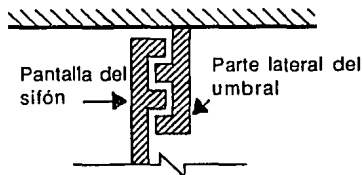
2.4.5 Quinto ensayo. Eliminación de los hules de sello

Con la eliminación de los hules y el ajuste del volumen adecuado de unicel para tener el nivel de flotación deseado, el funcionamiento del sifón fue satisfactorio. El autocebado se realizó eficientemente y el nivel de flotación se mantuvo al variar el nivel de aguas arriba. Ahora el inconveniente fue el de las fugas entre la pantalla del sifón y el umbral inferior; y entre la pantalla y las paredes del canal.

Para reducir las fugas se agregaron a la pantalla y al canal una serie de tiras de acrílico creando un sistema de espigas y ranuras, de manera que el agua circulara entre ellas y que su recorrido resultara intrincado y generar así pérdidas de energía que redujeran el flujo. Al ensayar estas modificaciones efectivamente se redujeron las fugas (alrededor del 5% del gasto) y con esto el sifón llegó a tener un funcionamiento hidráulico-mecánico aceptable. La lámina 22 muestra el diseño que arrojó los mejores resultados.



CORTE A-A'
Detalle de espigas y ranuras para disminuir las fugas



2.5 Comportamiento hidráulico del sifón

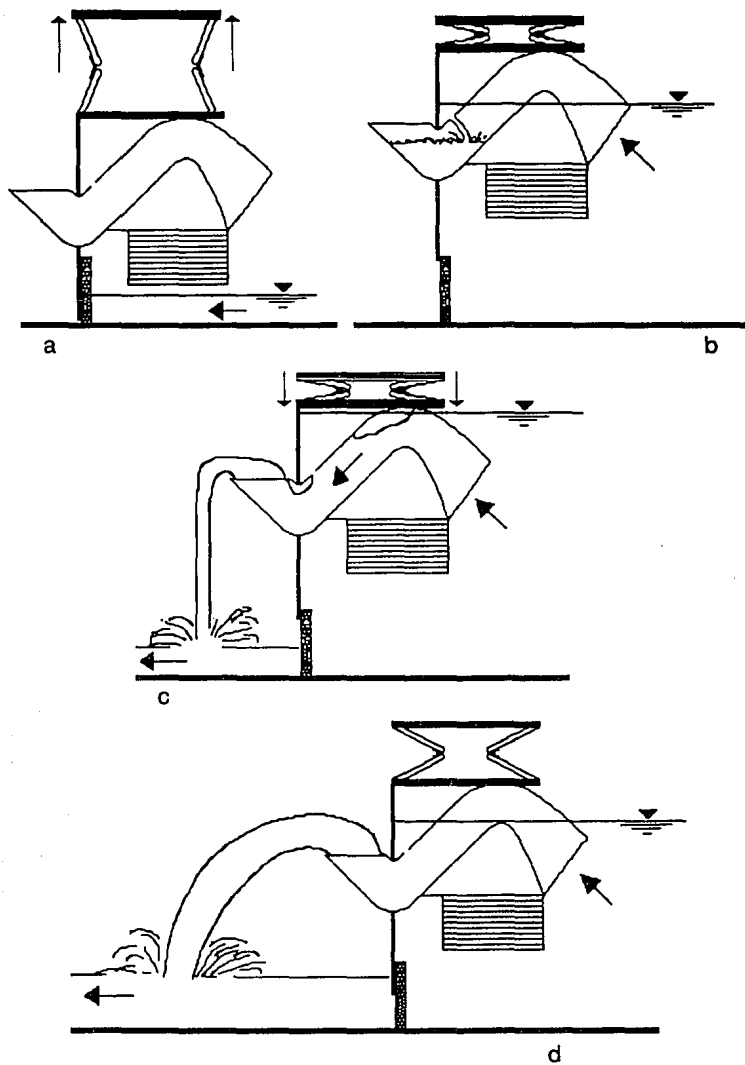
Salvadas las dificultades de operación mecánica del sifón, se procedió a realizar algunos ensayos tendientes a analizar su comportamiento hidráulico. Ver secuencia de dibujos de la lámina 23.

Al ingresar el agua al canal donde se aloja el sifón (dibujo 23a) éste flota hasta que el mecanismo de movimiento vertical queda completamente cerrado (dibujo 23b). Esto se debe a que el sifón no tiene agua en su interior y por lo tanto pesa menos que ya teniéndola.

El agua sube y se introduce por la ranura de autocebado (dibujo 23b) comenzando así su función de formar una barrera al flujo, de manera de emulsionar el agua y apresurar el cebado. El agua sigue subiendo y el sifón comienza a bajar al aumentar su peso por la mayor cantidad de agua que tiene en su interior. Ahora el sifón ya tiene poco aire en la curva del extradós, que es expulsado gradual y fácilmente (dibujo 23c). Al funcionar totalmente cebado, el sifón aumenta considerablemente el coeficiente de descarga y desagua una cantidad considerablemente mayor (dibujo 23d).

Al mantenerse el gasto de entrada constante y aumentar el de salida, el nivel del agua desciende y se sitúa en un nivel tal que se igualan los gastos de entrada y salida, con lo que el sifón se desplaza hasta equilibrar las fuerzas de peso y flotación. De ahí en adelante se considera que el sifón opera de manera permanente, y si los niveles de agua varían dentro del rango permitido, lo continuará haciendo indefinidamente ya que al subir o bajar el nivel, el sifón se mueve de la misma forma después de un pequeño tiempo de respuesta .

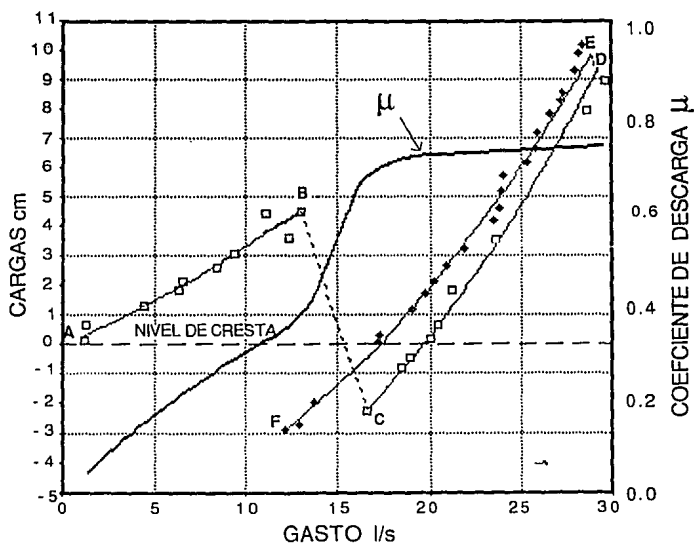
Lámina 23. Funcionamiento del sifón



En la gráfica de la lámina 24 puede observarse el funcionamiento del sifón. Se ceba al llegar la carga a 4.5 cm sobre nuestra referencia (la cresta del intradós), con un gasto de 13 l/s (punto B). Entonces la carga baja bruscamente por debajo de la cresta hasta unos 2.2 cm (punto C), y luego va creciendo conforme se aumenta el gasto hasta los 30 l/s (punto D). En ese punto se comienza a disminuir el gasto y el sifón comienza a descargar menos agua hasta llegar a descebarse al entrar el aire.

El análisis anterior se hizo fijando el sifón, es decir, el sifón no siguió al nivel del agua en su ascenso y descenso. Con lo anterior se perseguía analizar el comportamiento del sifón en cuanto a los rangos de funcionamiento.

Lámina 24. Curva de funcionamiento del Sifón



2.6 Conclusiones de la fase de laboratorio

El sifón flotante parece ser un dispositivo adecuado para derivar gastos constantes de canales abiertos independientemente de las variaciones que el tirante en el canal pueda sufrir, siempre que las condiciones de campo permitan que el dispositivo descargue libre. Un ahogamiento de la bocina de salida afectaría el gasto descargado. El peso sumergido del sifón determina el gasto que descarga. Por tanto, para conseguir pequeñas variaciones de este último, bastaría con cargar el dispositivo con un peso adicional o bien agregarle elementos flotadores. Una solución recomendable cuando una toma requiere variaciones importantes de gasto sería colocar en ella una batería de sifones de capacidades diferentes, que podrían combinarse en distintas maneras cebándose o descebándose como convenga.

Una observación importante es la siguiente. El sifón flotante una vez que esté vacío, no puede cebarse, a menos que se detenga su subida; lo que en principio podría lograrse con un tope superior fijado en las paredes del canal. Sin embargo, una solución de este tipo tendría un inconveniente. Supongamos que el sifón esté colocado en una expansión lateral del canal del cual se quiere derivar el agua. Una vez que el sifón haya alcanzado el tope, haría falta elevar (por ejemplo cerrando parcialmente una compuerta) el tirante en el canal hasta alcanzar la carga de cebado; y con esto se desestabilizaría el escurrimiento aguas arriba. La maniobra recomendable sería, por el contrario, sumergir el sifón a la fuerza, a la profundidad correspondiente a la carga de cebado, y una vez cebado, soltarlo dejándolo flotar libremente.

La realización de las pruebas de laboratorio resaltaron algunas peculiaridades del funcionamiento del sifón. Por ejemplo, volvamos a observar la gráfica de la lámina 24. El sifón puede variar su carga en un rango de aproximadamente 12 cm de carga y 13.5 l/s de gasto. Ello quiere decir que variando el nivel de flotación estamos en

condiciones de tener un rango de funcionamiento de 44% del gasto máximo descargado.

Es claro que no se puede escalar directamente este porcentaje al prototipo de campo; pero la orden de magnitud del rango es un punto a favor para la justificación de la flexibilidad del dispositivo.

Se puede observar en el anexo fotográfico la presencia de pequeños vórtices en la toma de la ranura de cebado. Para el modelo de laboratorio no representan mayor problema; sin embargo, podría ser de cuidado la presencia de vórtices en un prototipo de dimensiones mayores, por la entrada de aire que ellos favorecerían, retrasando el cebado.

El funcionamiento hidráulico-mecánico del sifón en laboratorio es conveniente y aceptable. Ello justifica la construcción y ensayo de un prototipo de campo que, con ciertas modificaciones pertinentes, se coloque en un canal de algún distrito de riego.

CAPÍTULO 3

FASE DE CAMPO

3.1 Objetivos de la fase de campo

Una vez probado el dispositivo en laboratorio, se le consideró, en cuanto a factibilidad técnica, como un dispositivo de control viable para utilizarse en los distritos de riego.

Podían preverse algunas de las modificaciones necesarias al modelo de laboratorio: tamaño, material, elementos auxiliares, etc. Sin embargo, para la utilización en los distritos de riego, podrían surgir circunstancias no contempladas que dificultarían el buen accionar del sifón. Detectar estas fallas y corregirlas fue el objeto de la realización de un prototipo de ensayos para campo.

3.2 *Desarrollo de las actividades*

Un rápido y somero análisis de la infraestructura hidráulica del estado de Morelos mostró que los distritos de riego manejan gastos insuficientes ya que se pretendía, en principio, construir un sifón con capacidad de un metro cúbico por segundo.

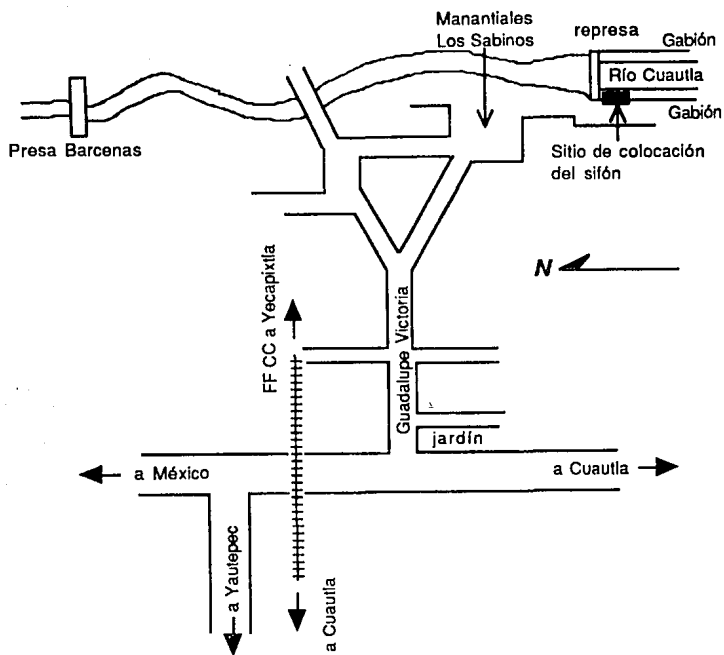
Inicialmente las opciones manejadas fueron el canal que parte del parque recreativo "Chapultepec" de la ciudad de Cuernavaca o los distritos de riego de Yautepec y Zacatepec en el estado de Morelos.

La primera opción fue totalmente inaceptable, el canal está alojado prácticamente en las calles. Consecuentemente no tiene desniveles suficientes y está contaminado en extremo. Además no maneja más de cien litros por segundo.

Al conseguir la información de los distritos de riego de Yautepec y Zacatepec, que fue muy poca, se nos señaló la viabilidad de usar el río Cuautla, en las inmediaciones de la población del mismo nombre.

Una visita al lugar nos convenció, en principio, puesto que el gasto era suficiente, se tiene fácil acceso y existen desniveles adecuados. La localización exacta del sitio que se escogió se presenta en los croquis de la lámina 25. El sitio está muy cerca de los manantiales de donde se toma el agua para abastecer a la población. Se puede llegar hasta el lugar por caminos y calles en buen estado acercándose, en automóvil, hasta unos diez metros del sitio de colocación. Existe una represa que provoca un remanso y un pequeño almacenamiento donde se cultivan berros. En seguida de la represa el golpe del agua ha socavado el lecho del cauce formando una poza en el centro de éste. El sifón estaría en la margen derecha del río sobre la losa que remata los gaviones de protección de los taludes, pudiéndose regresar el agua al cauce en la poza antes mencionada. La fotografía 20 del anexo muestra el sitio en las condiciones originales.

Lámina 25. Localización del sitio propuesto



3.2.1 Elección del material del sifón

Al mismo tiempo que se localizaba el lugar de colocación se recopilaba información sobre los materiales más convenientes para la construcción del sifón. Los materiales elegidos para estudiarse fueron la fibra de vidrio, hule tipo neolite y lámina galvanizada.

La fibra de vidrio presenta la dificultad de requerir un molde para la fabricación del sifón. Dicha fibra estará bien cuando se piense hacer varios sifones, pero para hacer uno solo no se justifica. El hule tipo neolite tampoco fue conveniente, puesto que se consigue en placas muy pequeñas y se necesita una estructura de soporte. La lámina

galvanizada fue la mejor opción, ya que no requiere de estructura de soporte. El peso total del sifón resultaría, de esta manera, no excesivo.

3.2.2 Modificaciones al diseño de laboratorio

Las modificaciones más importantes son dos: una en el mecanismo de movimiento vertical y otra en la caja de flotación. Por un lado las placas de acrílico del mecanismo de movimiento vertical se sustituyeron por marcos de solera estructural. Este cambio obedece a un razonamiento sencillo: las solicitaciones a la placa se pueden transmitir sólo por los bordes de ésta. Si se remueve el centro de la placa no se resta funcionalidad y se disminuye peso. Es así como las placas se transformaron en un marco metálico únicamente. El arreglo final del mecanismo de movimiento vertical para el prototipo se puede ver en el anexo G, planos 6 y 7.

3.2.3 Modificaciones de la caja de flotación

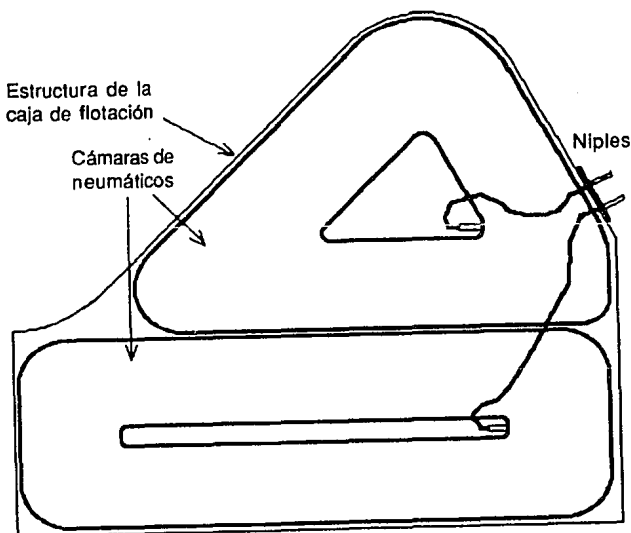
Se dedica un apartado especial a esta modificación por el cambio que representa. De los ensayos de laboratorio se desprendió que el sifón es capaz de descargar gastos constantes, pero cuya magnitud se puede modificar con cambiar el nivel de flotación dentro de los límites permitidos. Esto se logra de dos maneras: variando las fuerzas de peso o variando las fuerzas de flotación.

La solución propuesta es la siguiente. Si se sustituye la caja rígida de flotación por una flexible podremos variar el volumen de agua desalojado por ella y el empuje de Arquímedes variará. Dicho volumen variable se logra con neumáticos colocados dentro de una caja rígida permite el ingreso libre del agua a su interior. Las cámaras neumáticas tienen un niple en la superficie de la caja con objeto de tener control sobre

el inflado. El sistema se muestra en la lámina 26 y el detalle constructivo de la caja se observa en el plano 8.

En las conclusiones de la fase de laboratorio se mencionó la dificultad de lograr, en el campo, el cebado del sifón. Pues bien, supongamos que el sifón no tiene aire en los neumáticos; obviamente no flotara. Este hecho ayuda al cebado, en cuanto que el nivel del agua puede llegar, sin problemas, al punto mínimo necesario. Una vez obtenido el cebado, el usuario del sifón puede fácilmente inyectar aire a las cámaras y comenzar la flotación. Si se inyecta mucho aire el sifón flotará en exceso; en cambio, si no se pone mucho aire al sifón, éste flotará poco. Ahora bien, si se desea descebar el sifón, simplemente se inflan las cámaras de tal manera de sobreelevarlo hasta un punto donde el sifón se descebe, por la entrada del aire.

Lámina 26. Cámaras neumáticas en la caja de flotación



3.2.4 Instalaciones auxiliares al sifón

Las instalaciones auxiliares son, principalmente, el canal de alojamiento del sifón, una compuerta a la entrada del canal y un dispositivo para aforo de los caudales.

El canal donde se alojara el sifón tiene como objeto captar el agua, sostener al sifón y regresar el agua al cauce de donde se tomó. Se resolvió construirlo con lámina galvanizada y estructura a base de ángulos y soleras. Las medidas del canal se determinan en función del tamaño del sifón, que a su vez, depende del gasto que se quiera descargar.

La compuerta será útil para cortar el suministro en el caso de querer realizar alguna modificación al sifón o simplemente cuando no se le quiera operar. Para aforar los gastos en el sifón se propuso un vertedor en la alimentación al canal.

3.2.5 Determinación de las medidas del sifón

Para determinar las medidas que debiera tener el sifón de campo, sujetas a la descarga de gastos convenientes, se escaló el modelo de laboratorio por intermedio de la ley de similitud de Froude. Los cálculos se encuentran en el anexo C y aquí se presentan los resultados más significativos.

Lámina 27. Resultados de los cálculos para determinar las medidas del sifón

Gasto (l/s)	Escala de líneas	Area de la sección transversal (cm)
1000	0.2091	95 X 48
500	0.2759	72 X 36
200	0.3981	50 X 25

Los gastos están así dispuestos porque en un principio se pensaba descargar un gasto de un metro cúbico por segundo; sin embargo la sección transversal del sifón requerida para conducir ese gasto resultó muy grande. Se disminuyó el gasto pretendido a quinientos litros por segundo y aún así, las dimensiones del sifón se presentaban altas.

Adicionalmente otro obstáculo para optar por un gasto grande era el nivel disponible en el sitio de colocación ya que según el levantamiento topográfico sólo se tenían 1.33 m de desnivel y esto representaba un problema si se hubiera decidido descargar quinientos o mil litros por segundo, ya que se necesitaban 1.57 m de desnivel mínimo tan sólo para el gasto de quinientos litros por segundo. Finalmente se decidió optar por doscientos litros por segundo, para los cuales el sifón no resultaba muy grande y el desnivel era suficiente.

Habiendo determinado que se descargarían doscientos litros por segundo, se procedió a definir las medidas de todas las partes del sifón. La escala de líneas resultó de 0.3981, lo que nos da una sección transversal de cincuenta por veinticinco centímetros y una longitud total de 1.82 metros. El mecanismo de movimiento vertical midió 1.20 por 0.80 metros y el ancho del canal lo determinó esta última magnitud, quedando de 0.85 metros de ancho y cuatro metros de longitud total. Todas las medidas y detalles se pueden observar en el anexo G de planos constructivos.

3.2.6 Construcción del sifón

Ya definidas todas las medidas del sifón y de sus elementos auxiliares, se encargó a una compañía privada su manufactura. El montaje se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio Provisional de Hidráulica del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. De esta manera se pudo vigilar su construcción y solucionar los problemas en el momento que éstos surgían.

Mientras tanto se esperaba a que concluyera la temporada de lluvias para comenzar los trabajos en el cauce del río. Esta espera se debía a que en el análisis del comportamiento del río se detectaron avenidas de magnitudes tales que cualquier estructura se vería en grave riesgo de daño. Un resumen del estudio se puede ver en el anexo E, referente al comportamiento del río, que aún no siendo totalmente representativo para el sitio de colocación del sifón, sí era un indicativo confiable.

Al afirmar que el estudio del comportamiento del río no es muy representativo nos referimos a que el sitio de aforos de donde se obtuvo la información se encuentra a varios kilómetros río abajo y en el trayecto el río recibe una importante aportación de otro que se une a él.

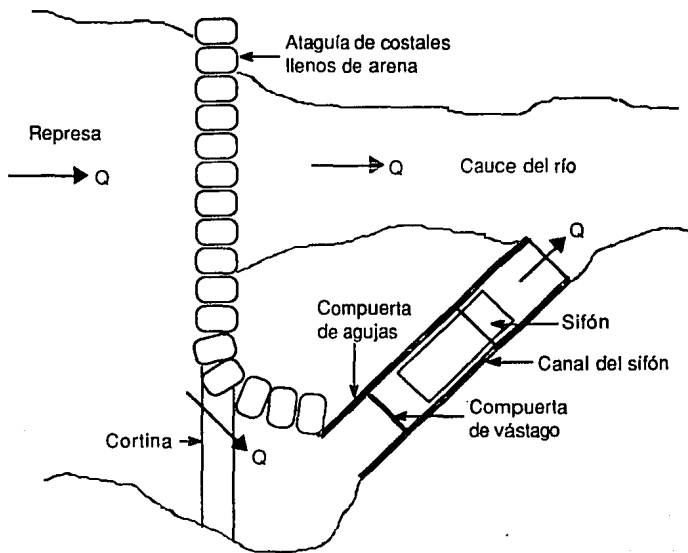
Cabe mencionar que la parte del sifón que se construyó en última instancia fue la caja que alojaría las cámaras neumáticas para la flotación. Esto obedeció al hecho de que se prefirió esperar a terminar todo lo demás para determinar con exactitud el peso de todo el conjunto, y con esa información construir la caja, de las dimensiones más adecuadas para permitir una expansión de las cámaras tal, que se lograra el volumen requerido para el empuje ascensional suficiente. Los avances en la construcción, hasta esta etapa, se pueden constatar en el anexo fotográfico en las fotos 15 a 19.

3.2.7 Adecuaciones en el sitio de colocación

La figura de la lámina 28 muestra las adecuaciones que se hicieron necesarias en el sitio de colocación del sifón. Primeramente se requería colocar una barrera a manera de atagüfa para orientar el agua hacia la entrada del canal. Antes de llegar al canal metálico se pensó en colocar un canal de mampostería y una especie de caja amortiguadora y conductora del agua, ya que la compuerta del canal se encuentra en la parte baja del mismo. En la parte alta de la misma caja se colocarían unas ranuras para la instalación de agujas de madera que permitirían desviar el agua cuando la

compuerta esté cerrada y variar el nivel de la superficie del agua cuando el sifón se encuentre operando.

Lámina 28. Instalaciones auxiliares para la colocación del sifón



3.2.8 Colocación del sifón

Antes de proceder a la colocación del sifón las sospechas de la presencia de avenidas peligrosas quedaron confirmadas. El río tuvo escurrimientos tan grandes que la parte donde se iba a asentar el sifón desapareció y en su lugar quedó una plataforma a unos dos metros por debajo del nivel antes registrado. Afortunadamente esto ayudó a

nuestros propósitos puesto que se evitó la excavación que antes hubiera sido requerida. El anexo fotográfico muestra en las fotos 21 y 22 la instalación del sifón.

3.3 *Primeros ensayos de campo*

Colocado el sifón fue posible realizar los primeros ensayos. Se tuvieron éxitos pero también fracasos. El cambio de caja de flotación rígida por una flexible funcionó bien, ya que las cámaras se inflaron con bastante facilidad. Lo que presentó problemas graves fue el cebado, no se pudo lograr y se sospechó inmediatamente de la ranura de sello hidráulico puesto que era notoria la gran cantidad de aire que se introducía por él, generando vórtices de corazón abierto.

Los problemas a resolver se relacionaban con tres aspectos: el orificio de autocebado, la medición de los gastos y las fugas entre las pantallas fija y móvil del dispositivo.

3.3.1 *Correcciones al funcionamiento*

La realización de una pequeña prueba en el modelo de laboratorio, observando la ranura de inyección, arrojó los resultados siguientes.

Por un lado es posible el cebado del sifón prescindiendo del inyector, pero esto se realiza sólo para niveles altos en la boca de entrada: solución poco práctica y difícil de llevar a cabo en el campo. Sin embargo fue posible mejorar el funcionamiento poniendo una pequeña madera encima del inyector. Cuando el sifón no está cebado la tabla flota libremente permitiendo la entrada de agua suficiente para provocar el sello, y una vez cebado, el sifón presenta succión en el orificio, hecho que favorece que la tabla se pegue al orificio y lo selle, disminuyéndose así la entrada de aire.

Por último, para minimizar las fugas se agregó al sifón un sello de hule en la parte baja del mismo, lugar por donde se escapaba la mayor parte del agua .

Con las correcciones anteriores se realizó una segunda serie de ensayos. Los resultados cambiaron, el sifón logró cebarse gracias la tabla de madera colocada encima del orificio inyector. Al cebarse el sifón fue clara la falta de caudal en el río, puesto que al cebarse descargaba cantidades de agua mayores a las disponibles, según pudo constatare por la medición de gastos en la compuerta, y con ello bajaba el nivel de la superficie del agua en la entrada del sifón provocándose el descebado.

Las fugas se minimizaron pero no en la medida deseada. Además el sifón experimentaba movimientos diferenciales en sentido perpendicular al flujo que llegaban incluso a trabarlo en las paredes del canal.

En vista de los resultados anteriores, se plantearon algunas acciones tendientes a mejorar el funcionamiento del sifón.

Definitivamente se decidió colocar un vertedor tipo Rehbock en el canal de mampostería aguas arriba del canal. Esto implicó que al canal se le hicieran nuevas adecuaciones. Se colocó la placa del vertedor, un tranquilizador y un orientador del flujo construido a base de malla de alambre y piedras, un limnómetro y un bote para medición de los niveles. Además se aumentó la longitud del canal de acceso para garantizar flujo paralelo y velocidades de llegada despreciables.

Las fugas y el cabeceo del sifón se solucionaron con la adición de llantas de hule para guiar al sifón en su movimiento vertical. Dichas llantas se dispusieron en dos pares colocadas tanto en sentido paralelo, como perpendicular al flujo. Anteriormente el sifón tenía un par de llantas pero fueron insuficientes. Las llantas que se adicionaron se ven en el plano número 15 del anexo G.

3.3.2 Insuficiencia del caudal en el río

Antes de medir los gastos en el río por intermedio del vertedor se calculó el gasto utilizando la compuerta como dispositivo de medición, obteniéndose trescientos cincuenta litros por segundo. Este valor estaba muy alejado del gasto de diseño, que se había fijado en doscientos litros por segundo.

Volvimos al modelo del laboratorio y revisamos el gasto necesario para un funcionamiento conveniente. El error era claro: el funcionamiento considerado como normal, en el laboratorio requirió treinta y tres litros por segundo y no veinte como se había considerado. El sifón de campo, que trabaja con un gasto diez veces más grande que en el laboratorio, requeriría, entonces, 330 litros por segundo y no doscientos como se había calculado. Y el río al parecer, no podía conducir tal caudal en el desvío que se hizo hacia el sifón.

Con la esperanza de que un encauzamiento total del río nos daría el caudal suficiente, se procedió al diseño del vertedor para el rango de gastos adecuado. Tal cálculo se ve en el anexo D.

El encauce se conseguiría moviendo la barrera de costales de arena un poco más hacia el centro con objeto de aumentar la longitud de cresta que se tenía, lo que se puede entender mejor observando la lámina 28.

3.4 Segunda serie de ensayos en campo

Concluidas todas las correcciones se emprendió la segunda serie de ensayos de campo. Ahora el sifón no tenía ningún movimiento fuera del que se realizaba en sentido vertical, gracias al aumento de ruedas en el sistema de deslizamiento. Por otro lado el gasto era suficiente para cebar al sifón y considerar que funciona normalmente.

3.5 Pérdida del Sifón por una avenida extraordinaria

Una vez terminados los trabajos en el canal de acceso y la colocación del vertedor rectangular de cresta delgada se pudo comprobar que los gastos disponibles en el río eran todavía insuficientes. Faltaba operar el sifón durante unas semanas en condiciones de cebado permanente para comprobar su gasto de operación y definir cuánto puede modificarse, dicho gasto, variando el inflado de los neumáticos.

En la madrugada del día 28 de mayo de 1992 el río Cuautla descargó una avenida sumamente violenta, cuyo gasto no fue aforado y arrasó con lo que había quedado de los gaviones de protección del cauce. Al mismo tiempo arrancó el canal con el sifón de su base y por muchas semanas no pudimos saber nada de ellos . Las fotos 25 y 26 del anexo fotográfico muestran lo que quedó de la instalación, de la cual lo único que se pudo recuperar fue el vertedor rectangular. En cuanto al sifón, estábamos pensando que había caído a la poza existente al pie de la cortina. Nos aprestábamos a intentar la recuperación cuando en la tarde del 8 de junio una segunda avenida, al parecer más violenta que la primera, y que tampoco fue aforada, hizo que se abriera un boquete en la cortina . El embalse se vació, llenando de azolve la poza. En esa ocasión fue posible saber el destino del sifón flotante: llevado por la corriente por largo tramo, había sido depositado y abandonado en una presa derivadora aguas abajo y la gente del lugar se había apoderado de él.

3.6 Ensayos finales en laboratorio

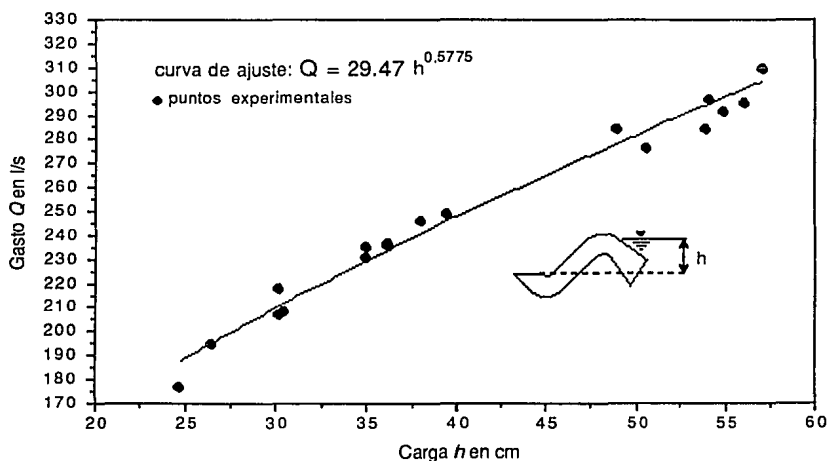
Para conocer el rango de gastos que puede descargar el sifón se realizaron algunos ensayos en el laboratorio. Esto debió haberse hecho en el prototipo de campo, pero debido a la pérdida del sifón ello no fue posible.

Los datos obtenidos en el laboratorio se convirtieron a magnitudes de prototipo utilizando la escala de líneas y de gastos calculadas en el anexo C. Los gastos se multiplicaron por diez y las cargas se dividieron entre 0.3981. Así se obtuvo la gráfica de la lámina 29.

El sifón resultó capaz de descargar desde 188 hasta 305 litros por segundo, según la curva de ajuste, y desde 177 hasta 309 litros por segundo, según los puntos experimentales; con cargas que varían desde 24 hasta 57 cm.

Recuérdese que la gráfica de la lámina 29 se construyó con datos obtenidos en laboratorio, por lo que debe interpretarse teniendo en cuenta este hecho.

Lámina 29. Rango de gastos del sifón



El trabajo hasta aquí realizado cumple bien con el objetivo planteado, que era la propuesta de diseño de un dispositivo capaz de derivar gastos constantes ante variaciones de nivel en la fuente de alimentación, pero ello no incluye el proceso de

transferencia del dispositivo a los usuarios. Esto será un trabajo posterior que ya no se presenta en esta tesis, pero que debiera realizarse.

Con el diseño final del sifón flotante se logró un funcionamiento mecánico-hidráulico adecuado para las condiciones del sitio donde se colocó. Sin embargo, si se deseara utilizar un sifón para descargar gastos que salgan del rango de los presentados en la lámina 29, debe diseñarse dicho sifón tomando en cuenta las medidas del sifón ensayado en laboratorio y escalarlas según las leyes de similitud de Froude, calculando la escala de líneas a partir de la escala de gastos. Como ejemplo se pueden utilizar los cálculos del anexo C.

Por último, debe tenerse en cuenta que el sifón no debe descargar ahogado. Para que se cumpla esta recomendación, el canal hacia donde se derive deberá tener una capacidad mínima tal, que la profundidad del agua sea menor que la distancia entre la salida del sifón y la plantilla del canal, cuando el sifón se encuentre en la posición más baja posible.

ANÁLISIS METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

En aras de lograr eficiencia en la consecución de los objetivos de cualquier tipo de investigación es recomendable y provechoso realizarla con criterios y rigor científico. Por esta razón se realizó el siguiente análisis, que, por una parte, nos permite ubicar la investigación desarrollada, dentro del contexto general de la ciencia, y por otra, nos aporta los beneficios que se obtienen al utilizar el método científico.

A.1 Planeamiento y análisis metodológico del problema

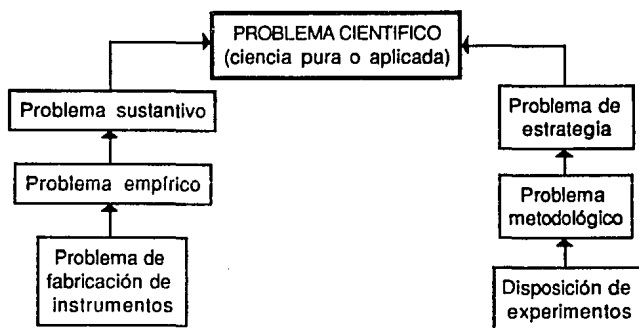
El problema en este caso se presenta con la pregunta siguiente:

¿Qué características debe tener un dispositivo de extracción de gastos constantes para minimizar las desventajas de los actuales?

No todos los problemas son científicos; los problemas científicos son exclusivamente aquellos que se plantean sobre un trasfondo científico, se estudian con métodos científicos y con objeto de incrementar el conocimiento*. Si el objetivo de la investigación es más bien práctico que teórico, pero el trasfondo y los instrumentos son científicos, entonces el problema lo es de ciencia aplicada o tecnología. A saber, la ciencia aplicada es una subrama de las ciencias factuales y éstas, a su vez, son una rama de la ciencia en general.

Tal es el caso de nuestro problema, no es un problema enmarcado en la ciencia pura, sino en la ciencia aplicada, en cuanto que tiene pretensiones de aumento del bienestar y poder humano, más que de incrementar el conocimiento directamente. Ahora bien, nuestro problema se sitúa, dentro la amplia gama de clases de problemas, como lo muestra el esquema siguiente.

Lámina 30. Clasificación del problema



Atendiendo a la lámina anterior podemos clasificar al problema como sustantivo y a la vez de estrategia en cuanto que la propiedad característica de cada subclase se coloca en primer plano dependiendo de la fase en que se encuentre la investigación.

A.2 Planteamiento y análisis de la hipótesis

A continuación se plantea la hipótesis correspondiente al problema propuesto y se analiza su proyección y validez.

Un dispositivo de descarga que flote y se mueva con la variación del nivel del agua, evacúa gastos constantes si permanecen constantes las otras variables de las cuales también depende.

Nuestra hipótesis nace de un problema no-científico (entendiendo que el término "no-científico" se refiere a la ciencia aplicada), por tanto es una hipótesis no-científica, pero factual; en cuanto que se refiere a hechos de la realidad. Nadie ha dicho (o supuesto) que no existan las hipótesis no-científicas. Entonces podemos aceptar su existencia (una discusión al respecto podría ser trabajo aparte) y realizar algunas operaciones metodológicas con ellas.

Supongamos que se ignore el hecho de que nuestro problema no es científico y tratemos de encajar la hipótesis en su definición: "es aquella que se refiere, mediata o inmediatamente, a hechos no sujetos hasta ahora a la experiencia o, en general, no sometibles a la misma y es corregible a la vista de nuevos conocimientos". Nuestra hipótesis tropieza con una gran dificultad: es sometible a la experiencia en cuanto que no trata de explicar algún fenómeno, sino un funcionamiento.

Por otro lado, para el rigor metodológico, una hipótesis debe conllevar ciertos requisitos en aras de confiar en su validez:

- a) La hipótesis debe ser bien fundamentada (formalmente correcta) y significativa (no vacía semánticamente)
- b) Tiene que estar basada en un cuerpo de conocimiento previo y si es

completamente nueva en algún campo específico, debe ser compatible con el cuerpo del conocimiento científico

- c) La hipótesis tiene que ser empíricamente contrastable mediante técnicas y teorías científicas.

Una hipótesis que cumple con los requisitos anteriores es científica, independientemente de ser verdadera o falsa. Y nuestra hipótesis cumple con ellos aunque no es de ciencia pura, sino de ciencia aplicada.

Por otro lado, todo fenómeno (hecho observable) es objeto de elaboración de hipótesis de dos tipos: hipótesis físicas, cuando el fenómeno no depende del sujeto que elabora la hipótesis e hipótesis psicológicas cuando el fenómeno es subjetivo, o sea que depende del observador. En este caso la hipótesis es física.

Queremos ahora elaborar la clasificación de las hipótesis no-científicas (recuérdese que nos referimos a hipótesis de ciencia aplicada o tecnología). Supongamos que éstas tengan una clasificación similar a las hipótesis que son de ciencia pura. Las hipótesis científicas se clasifican desde varios puntos de vista, pero las clasificaciones más interesantes las presenta Mario Bunge [2].

Dichas clasificaciones son tres:

- Clasificación sintáctica (desde punto de vista de la forma)
- Clasificación semántica (desde el punto de vista de la referencia)
- Clasificación epistemológica (desde el punto de vista del status cognitivo)

Nuestra hipótesis puede ser clasificada como se muestra en la tabla de la lámina 31.

Lámina 31. Clasificación de la Hipótesis

TIPO DE CLASIFICACION	CARACTERÍSTICA DE LA CLASIFICACION	CLASIFICACION
SINTÁCTICA	Por el número de predicados Por el grado de los predicados Por el carácter métrico de los predicados Por su alcance Por su sistematicidad Por su potencia deductiva Por su especificabilidad Por su posibilidad de especificar condicionales en subjuntivo	De varios predicados De predicados monódicos Cualitativa Cuasigeneral Sistemática Inferencial Inespecificable Contraceptualmente débil
SEMÁNTICA	Por el concepto de su predicado Por el orden del predicado Por la precisión del predicado Por los correlatos de los predicados	De predicado global Individual En bruto De correlato simple
EPISTEMOLÓGICA	Por el arranque o punto de partida Por el grado de abstracción Por el grado de profundidad	Por deducción de teorías De observación teórica Mecanicista

En cuanto a la fundamentación de la hipótesis se puede decir que se convalida teóricamente por medio de un sencillo experimento mental de tipo silogismo, basado en experiencias empíricas: el experimento se basa en las leyes de la flotación y la teoría de orificios; si éstas se cumplen, se cumplirá la hipótesis planteada.

La contrastación de la hipótesis que hemos formulado se convierte en un obstáculo que ya habíamos contemplado: una hipótesis científica no se puede contrastar directamente, sólo se contrastan ciertas manifestaciones del fenómeno a los que se refiere la hipótesis. A saber, se contrastan únicamente las traducciones de la hipótesis al lenguaje de la experiencia. Y nuestra hipótesis sí es contrastable empíricamente.

Con referencia a la cadena metodológica hipótesis-ley-teoría y la formulación de una ley derivada de nuestra hipótesis diremos lo siguiente.

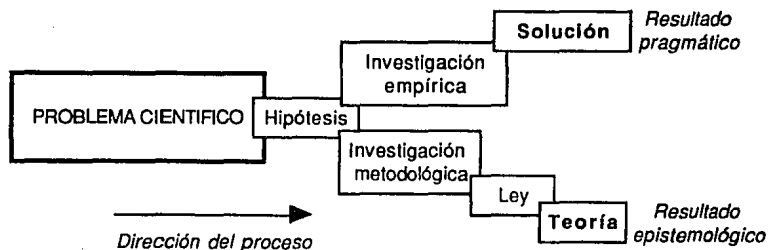
La hipótesis es un supuesto derivado de leyes ya enunciadas y comprobadas, por tanto no puede crear ella misma un ley; si así lo hiciera estaríamos ante un absurdo a menos que las leyes de las que se partió tuvieran precisamente una excepción correspondiente a nuestro supuesto.

En conclusión, la tesis planteada es un supuesto lógico derivado de leyes reconocidas y su carácter hipotético no lo es de suyo dado, sino del carácter hipotético de las leyes de las cuales se deriva. Para definirla con más propiedad, y atendiendo a lo expuesto hasta ahora, en lo que a metodología se refiere, se dirá, que la hipótesis se convierte en un *planteamiento tecnológico con carácter hipotético*. Sin embargo, puede ser tratado, en cuanto a la clasificación, como una hipótesis científica.

A.3 Productos de una hipótesis

Como se muestra en la lámina 32 todo trabajo final de un proceso científico tiene dos componentes.

Lámina 32. Resultados de la ciencia



Por un lado la hipótesis que se plantea para explicar un hecho puede llegar a formar o a contribuir a la formación de teorías y al incremento del cuerpo del conocimiento; pero además, también es posible que solucione problemas prácticos, y no solamente es posible sino hasta normal, en cuanto que la ciencia tiene como objetivo el aumento del bienestar humano.

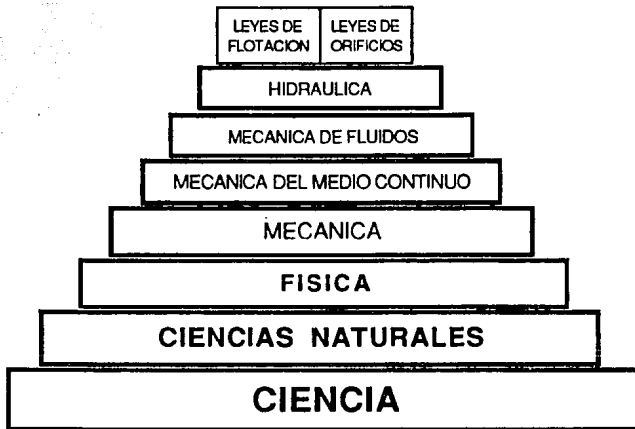
Es posible considerar que habrá hipótesis que sigan ambos caminos e hipótesis que recorran sólo uno de ellos. Nuestra hipótesis recorre únicamente el camino del resultado pragmático.

A.4 Ubicación de la hipótesis en el cuerpo del conocimiento e hipótesis involucradas

Se ha escogido como dispositivo de descarga un sifón por la razón de que puede interrumpirse la descarga al descebarse y con ello no es necesario incluir compuertas o algún dispositivo de corte del suministro. Adicionalmente, el sifón tiene ventaja en cuanto que la magnitud de la descarga depende de la carga elevada al exponente $1/2$ pero con una carga efectiva mucho mayor que la de los vertedores, por ejemplo, que trabajan con cargas elevadas al exponente $3/2$.

Para los fines perseguidos, hidráulicamente el sifón fue considerado como un orificio de pared gruesa y de forma especial. Y por otro lado el sifón tiene la capacidad de flotar. Por tanto, la ubicación en el cuerpo del conocimiento la podemos realizar ubicando las leyes de los orificios y de la flotación. Esto se hace esquemáticamente por medio de la pirámide de la lámina 33.

Lámina 33. Ubicación de la hipótesis en el cuerpo del conocimiento



En cuanto a las hipótesis que se involucran en el planeamiento de nuestro enunciado, diremos que son todas aquellas que tengan que ver con las leyes de los orificios y las leyes de flotación. A continuación se hace mención de las principales.

Hipótesis de la ley de flotación

a) En este caso la única hipótesis involucrada es aquella que supone a la densidad constante en toda la masa fluida.

Hipótesis de la deducción de la fórmula de orificios

- a) El tamaño del orificio es de pequeñas dimensiones en comparación con la profundidad
- b) El agua está en reposo antes del orificio
- c) El nivel del agua permanece estático
- d) El único contacto entre el orificio y el líquido es una arista

- e) Las partículas se mueven en dirección de la abertura
- f) Las velocidades son uniformes en la sección contraída
- g) La diferencia de nivel entre los centros de gravedad de la sección contraída y la sección del orificio es despreciable

Hipótesis de la ecuación de Bernoulli

- a) Flujo no viscoso
- b) Las fuerzas másicas poseen un potencial
- c) Flujo incompresible

Hipótesis de la ecuación de Navier-Stokes

- a) Se supone válida la ecuación de Newton
- b) Los esfuerzos distorsionales son proporcionales a las rapidezces de deformación
- c) Hipótesis del continuo
- d) Hipótesis de la conservación de la masa

Hipótesis filosóficas

- a) Hipótesis de la realidad
- b) La realidad es determinística
- c) Formalismo

A.5 Técnicas de Solución

El camino para la demostración del enunciado propuesto es simple: se debe diseñar un modelo y ensayarlo en laboratorio, primeramente, y en campo después. Es decir, se va a realizar un experimento; pero no un experimento de ciencia pura sino de ciencia aplicada, o sea, un experimento tecnológico. A saber, no se pretende

contrastar las leyes de las cuales se deriva nuestro enunciado; más bien se pretende solucionar un problema práctico por su intermedio.

Si analizamos lo que inicialmente se propuso como hipótesis veremos que un sencillo experimento mental nos da certeza de su propuesta. Veamos cómo es esto.

Las leyes involucradas son el principio de flotación y las ecuaciones de descarga; si dichas leyes se cumplen, se cumplirá nuestro enunciado, en cuanto que depende de dichas leyes.

Lo anteriormente dicho esta bien; pero ello no da la solución del problema, la solución será llevar a la práctica dicha propuesta, determinando las características hidráulicas y mecánicas del dispositivo.

La determinación de las características del dispositivo se encontrarán por medio de la realización de un experimento de dos fases y tres partes cada una. La tabla de la lámina 34 muestra esquemáticamente dichas fases y etapas.

Al final del trabajo se espera contar con un prototipo de sifón flotante con características técnicas bien determinadas y adecuadas con objeto de estar en posibilidad de proponerlo como un dispositivo de auxilio, en la operación eficiente de los distritos de riego.

• Lámina 34. Programa de actividades

FASE	ACTIVIDADES	
LABORATORIO	DISEÑO	a) Estudio metuculoso del estado del arte en el control del agua de riego b) Planeamiento de alternativas de dispositivos c) Diseño del dispositivo en cuanto al material y al funcionamiento hidráulico
	CONSTRUCCIÓN	a) Fabricación b) Colocación
	OPERACIÓN	a) Ensayos preliminares b) Ensayos correctivos c) Ensayos definitivos
CAMPO	REDISEÑO	a) Material b) Elección del lugar de pruebas c) Diseño definitivo a escala real
	CONSTRUCCIÓN	a) Fabricación b) Colocación
	OPERACIÓN	a) Ensayos preliminares b) Ensayos correctivos c) Ensayos definitivos

CÁLCULO DE LAS MAGNITUDES Y POSICIONES DE LAS FUERZAS ACTUANTES EN EL MODELO

Con objeto de determinar, aproximadamente, la magnitud y posición de las fuerzas actuantes en el modelo de laboratorio, se realizaron algunos cálculos sencillos y con ello se definieron las posibles correcciones al mal funcionamiento del mismo.

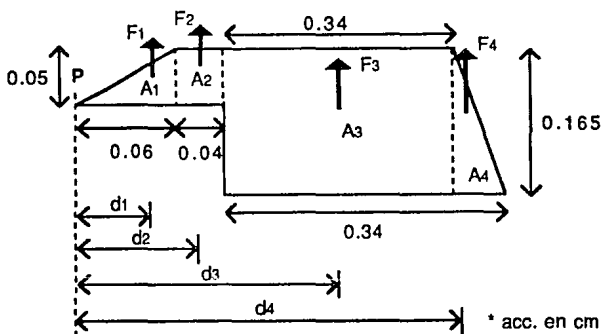
En el funcionamiento del sifón, se puede proponer que existen tres etapas en las cuales el equilibrio responde a sistemas de fuerzas diferentes: a) sistema antes iniciar flotación, b) proceso de llenado y c) sifón cebado y flotando. Cabe mencionar que todos los cálculos se hicieron para la tercer etapa considerando que el nivel del agua se encuentra en la parte más alta del sifón.

En general las fuerzas actuantes en el sifón son de cuatro tipos: las fuerzas de peso, las fuerzas de flotación, los empujes hidrostáticos y los empujes hidrodinámicos. Las fuerzas de peso son las generadas por el peso del sifón y de los elementos auxiliares. Las de flotación son las debidas al volumen de material ligero colocado en la parte

baja del sifón y a la caja de flotación del mismo. Se tiene, también, un empuje hidrostático en la pantalla frontal del sifón, que está en contacto con el agua en una de sus caras, mientras que la otra está a presión atmosférica. Los empujes hidrodinámicos se presentan en tres partes: en la entrada, en la curva superior y en la curva de salida.

Primeramente se presenta el cálculo para determinar las fuerza de flotación del unice, que no es otra cosa que el cálculo de su volumen multiplicado por el peso específico del agua (no se considera el peso del unice).

Lámina 35. Medidas del bloque de unice



Los resultados son los siguientes:

$$\text{Area} = 0.05465 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen} = 0.01093 \text{ m}^3$$

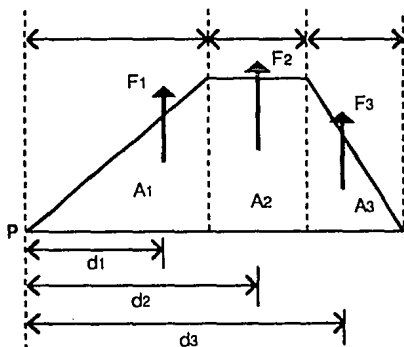
$$\text{Fuerza de Flotación del unice} = 10.93 \text{ kg}$$

$$\text{Distancia centroidal, } 0.2435 \text{ m}$$

La distancia centroidal es el espaciamiento entre el punto de aplicación de la fuerza resultante y una línea vertical que pasa por el punto P, (ver lámina anterior)

Otra fuerza de flotación es la generada por la caja de aire que está colocada debajo del intradós del sifón. Para fines de cálculo, la forma curvada de la caja se substituyó por líneas rectas.

Lámina 36. Medidas de la caja de flotación



Con auxilio de la lámina anterior se encontraron los resultados siguientes.

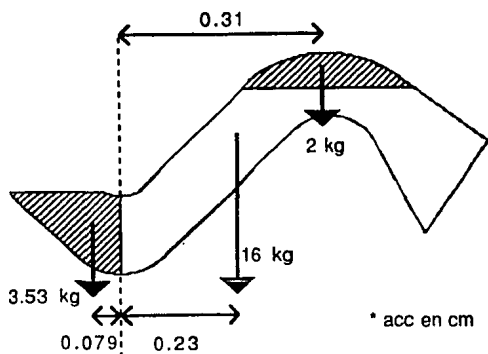
$$\text{Volumen} = 0.005248 \text{ m}^3$$

$$\text{Fuerza de flotación de la caja} = 5.248 \text{ kg}$$

$$\text{Distancia centroidal} = 0.15 \text{ m}$$

Utilizando la misma metodología, se determinó el peso del sifón y sus aditamentos.

Lámina 37. Peso propio del sifón



Como se puede ver en la lámina 37 los pesos son tres: el peso del material con que está construido el sifón (acrílico cristal de 5 mm de espesor); un volumen de agua en la parte superior del extradós que al flotar el sifón quedaría por encima de la superficie libre del agua; y finalmente, otro volumen de agua alojado en la cubeta de salida.

Según mediciones de laboratorio se obtuvieron los pesos siguientes. El peso del sifón con sus accesorios es de 16 kg; el volumen de agua de la parte superior pesa 2 kg y la cubeta de salida aloja un peso de 3.53 kg.

Las distancias centroidales de los volúmenes de agua se obtuvieron analíticamente y la del peso del sifón se obtuvo por medio de un molde de cartón de la misma forma del sifón que se colgó de varios puntos de un hilo. Y en el cruce de las líneas que resultaban de la proyección de los hilos hacia el interior de la figura de cartón, se encontró el centro de gravedad de la figura.

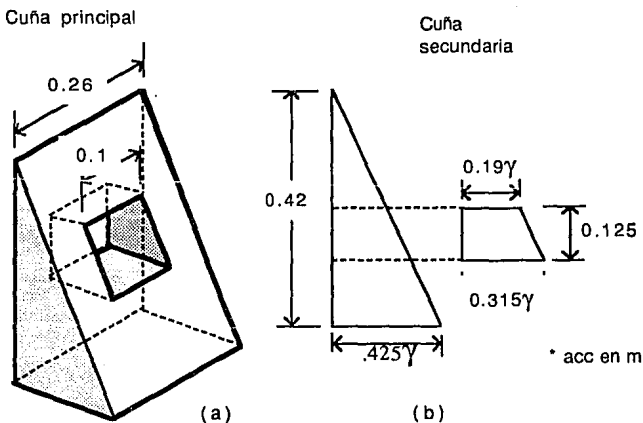
Adoptando convencionalmente que los momentos que giran en sentido de las manecillas del reloj son positivos, se tomaron momentos respecto de la línea punteada

de la lámina 37, que es donde se encuentra la pantalla del sifón, y considerando que la resultante de los pesos es su suma (21.53 kg), se encontró la distancia centroidal respecto de dicha línea punteada, resultando de 0.19 m.

Por otro lado el agua en contacto con la pantalla del sifón genera un empuje hidrostático en la parte baja de la misma, a continuación se calcula su magnitud.

La cuña de presiones tiene la forma y medidas que se presenta en la lámina 38a y el cálculo del empuje se puede simplificar dividiendo la cuña en dos partes, primero se calcula el empuje de toda la cuña y después se le resta la parte hueca, que es donde se aloja el sifón.

Lámina 38. Cuña de presiones en la pantalla del sifón



El empuje de la cuña principal (E_c) vale 11.46 kg

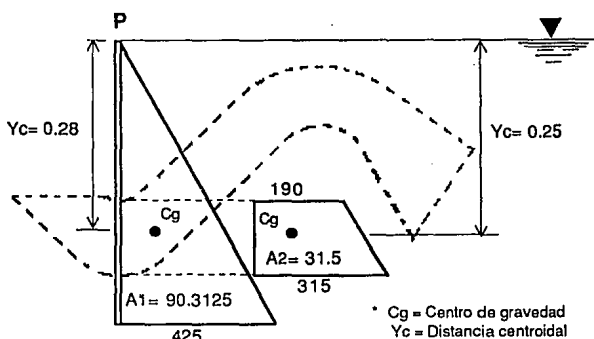
El empuje de la cuña secundaria (E_s) vale 1.47 kg

El empuje hidrostático total (E_t) será la diferencia de los dos anteriores

$$E_t = E_p - E_s = 23.48 - 4.42 = 19.06 \text{ kg}$$

La posición del empuje se puede encontrar aplicando el teorema de Varignon a las áreas de las figuras geométricas A_1 y A_2 , tal como se observa en la lámina siguiente.

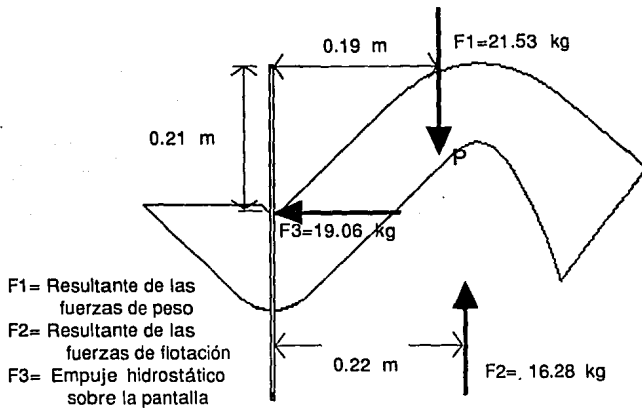
Lámina 39. Posición del empuje hidrostático



Por lo tanto, la distancia centroidal es 0.21 m.

Ahora se está en condiciones de encontrar la magnitud y posición de la resultante de las fuerzas de flotación, de peso y de empuje hidrostático.

Lámina 40. Resumen de fuerzas de peso, de flotación e hidrostáticas



Tomando momentos respecto de la parte más alta de la pantalla del sifón, lámina 40, y estableciendo la convención de que los momentos que giren en sentido de las manecillas del reloj son positivos, se tiene

$$M_h = (21.53)(0.19) + (19.06)(0.21) - (16.28)(0.22) = 4.51 \text{ Kg}\cdot\text{m}$$

Para el cálculo de los empujes hidrodinámicos se hizo uso de la ecuación de cantidad de movimiento aplicada a los volúmenes de control V_{c1} , V_{c2} y V_{c3} , que se indican en la lámina 41.

La forma de la ecuación de cantidad de movimiento a aplicar es [8]

$$\begin{aligned} -F_x + F_{p_1} - F_{p_2} \cos \alpha &= r(V_2 \cos \alpha - V_1) \\ -F_y + F_{p_2} \sin \alpha &= r(-V_2 \sin \alpha) \end{aligned}$$

Donde:

F_x , Fuerza que produce el agua en la dirección X

F_y , Fuerza que produce el agua en la dirección Y

F_{p_1} , Fuerza de presión en la sección 1

F_{p_2} , Fuerza de presión en la sección 2

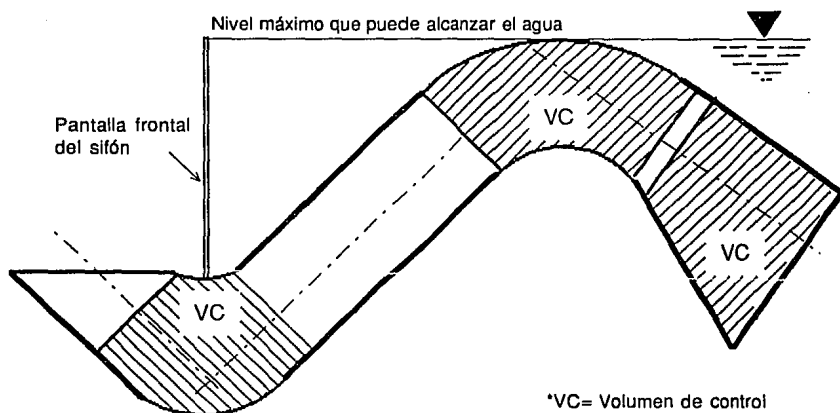
γ , peso específico del agua

V_1 , Velocidad en la sección 1

V_2 , Velocidad en la sección 2

q , Ángulo del cambio de dirección

Lámina 41. Volúmenes de control para el cálculo de los empujes hidrodinámicos.



Aplicando las ecuaciones anteriores a los diferentes volúmenes de control se obtienen las fuerzas que se muestran en la lámina 42 siguiente.

De la figura anterior se puede calcular el momento resultante de los empujes

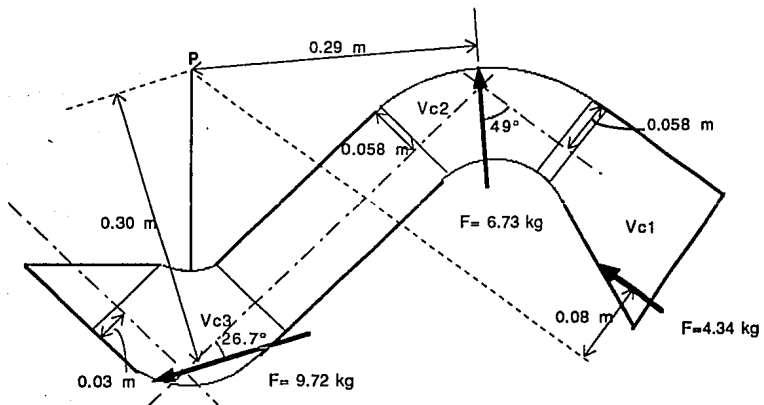
hidrodinámicos M_e , tomando como positivos los momentos que giren en el mismo sentido que las manecillas del reloj.

$$M_e = (9.72)(0.3) - (6.73)(0.29) - (4.34)(0.08) = 0.62 \text{ kg-m}$$

El valor anterior se puede sumar al momento resultante de los empujes hidrostáticos para encontrar el momento total M_t , adoptando la misma convención de signos.

$$M_t = 4.51 + 0.62 = 5.13 \text{ kg-m}$$

Lámina 42. Empujes hidrodinámicos en el sifón



DETERMINACIÓN DE LA ESCALA DE LÍNEAS DEL PROTOTIPO

Inicialmente podría pensarse que el parámetro adimensional que debe respetarse es el número de Reynolds, en cuanto que el sifón es un tubo que trabaja como conducto a presión. Sin embargo, dado que las dimensiones del sifón son cortas, considerándolo como un tubo, las fuerzas de viscosidad son despreciables. Por lo tanto, el fenómeno depende primordialmente de la fuerza de gravedad y el parámetro adimensional a utilizar es el número de Froude, que relaciona las fuerzas de inercia con las de gravedad.

De acuerdo con la ley de Froude se tiene que:

$$Q_e = L e^{5/2}$$

Qe y Le se pueden definir como:

$$Q_e = Q_p/Q_m$$

$$L_e = X_e = Y_e = X_p/X_m = Y_p/Y_m$$

donde:

Q_e, Escala de gastos

L_e, Escala de líneas

Q_m, Gasto en modelo

Q_p, Gasto en prototipo

X_e, Escala de líneas horizontales

Y_e, Escala de líneas verticales

X_m, Magnitud horizontal en modelo

X_p, Magnitud horizontal en prototipo

Y_m, Magnitud vertical de modelo

Y_p, Magnitud vertical de prototipo

Como se tiene un modelo no distorsionado la escala de líneas verticales es igual a la escala de líneas horizontales. Por tanto, despejando las magnitudes horizontal y vertical de prototipo, y sabiendo que las magnitudes en modelo son X_m=20 cm y Y_m=10 cm, y una escala de gastos Q_e = 10, obtenemos:

$$X_p = (Q_e X_m^{5/2})^{2/5} = 0.95 \text{ m}$$

$$Y_p = (Q_e X_m^{5/2})^{2/5} = 0.47 \text{ m}$$

Igualmente se realizaron cálculos para Q_p=500 l/s y Q_p=200 l/s resultando las secciones transversales de 72.48 cm por 36.25 cm y 50 cm por 25 cm, respectivamente.

DISEÑO DEL VERTEDOR

Para las mediciones de gastos en la entrada del canal del sifón se consideró preferible un vertedor de pared delgada tipo Rehbock, ya que un aforador de garganta suprimida no será confiable porque el chorro a la salida del sifón alcanza a penetrar en el aforador.

Según la referencia 7, el gasto en un vertedor tipo Rehbock está dado por

$$Q = 2.952 m b h^{1.5}$$

donde

$$m = (0.6035 + 0.813 (h + 0.0011)/w) (1 + 0.0011/h)^{1.5}$$

además, b es el ancho del vertedor, h es la carga sobre la cresta y w es la altura del vertedor desde la plantilla del canal.

Sustituyendo los valores de $b = 0.85$ m y haciendo iteraciones para la carga h y la altura w , se construyó la tabla que sigue, de la cuál se escogieron las medidas de

vertedor más convenientes para cumplir con los límites de aplicación de la fórmula y los gastos requeridos.

Lámina 43. Tabla de medidas del vertedor

w (m)	h (m)	gasto (l/s)	h/w	h+w (m)
0.10	0.20	175.6	2.0	0.30
0.20	0.20	156.8	1.0	0.40
0.30	0.30	287.4	1.0	0.60
0.40	0.40	441.7	1.0	0.80

De las opciones calculadas la mejor es la última, o sea un vertedor con $w = 0.4$ m y una carga máxima de $h = 0.4$ m ya que se cumple la restricción de que $h/w < 1$ y la suma de ambas no rebasa la altura total del canal donde se colocaría el vertedor, o sea 0.9 m.

ANEXO E

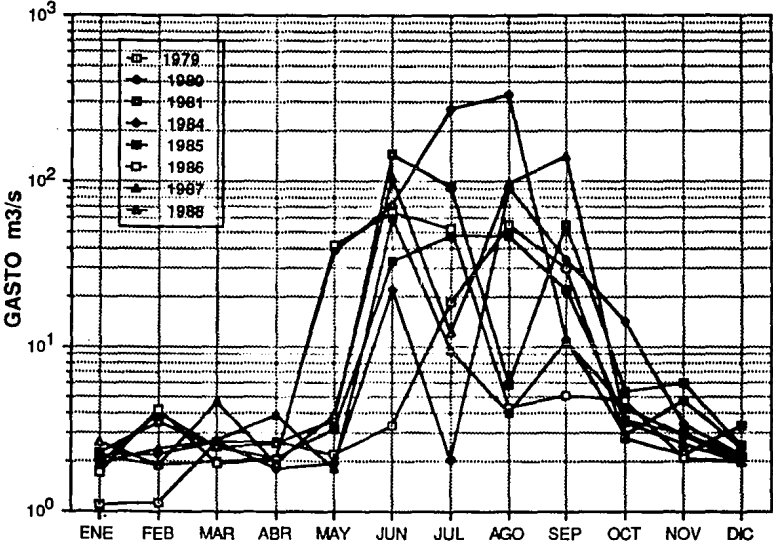
ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

COMPORTAMIENTO DEL RÍO CUAUTLA

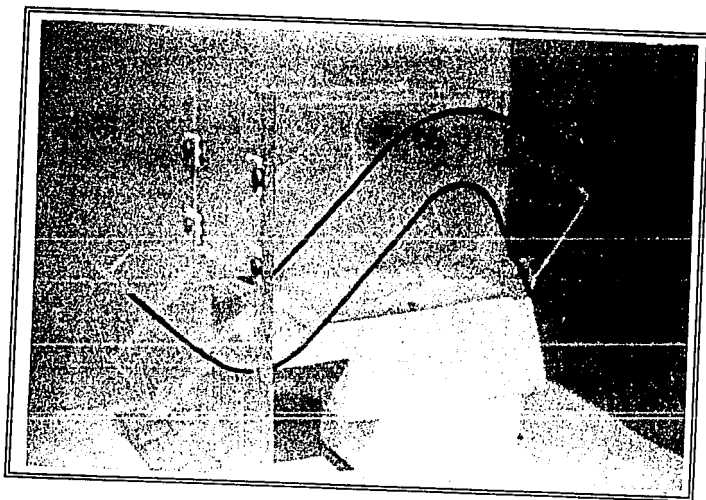
Para saber cuáles eran los meses más adecuados para colocar y operar el sifón se consiguió información de aforos en el río Cuautla. Desafortunadamente la estación de aforos más cercana al lugar donde se colocó el sifón se encuentra río abajo a una distancia de 5 kilómetros aproximadamente, y en esa longitud el río tiene importantes aportaciones por afluentes pequeños en ambas márgenes y además se une a un río que aporta gastos de una magnitud parecida a los del propio río Cuautla. Aun así, la información se analizó y se presenta en la lámina 44.

Como se puede observar los meses desde diciembre hasta abril son los de menores gastos y en ellos puede realizarse la colocación del sifón. Y en los demás meses se tienen gastos que se pueden aprovechar para la operación del sifón, aunque ello puede representar un peligro para la operación del dispositivo puesto que las avenidas suelen ser fuertes según las personas que viven cerca del lugar.

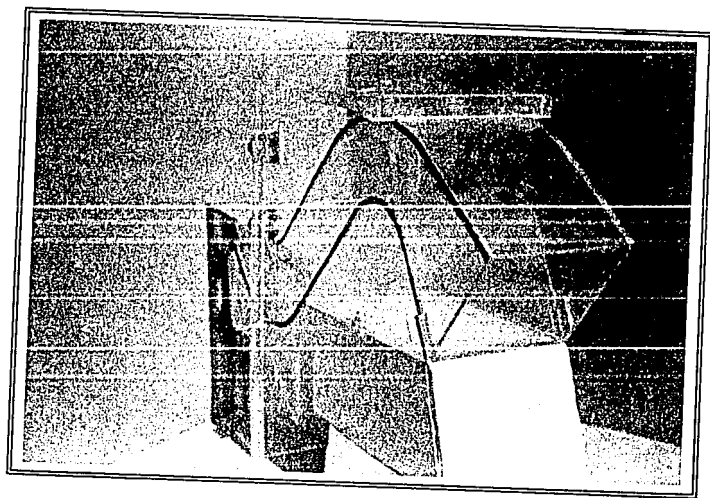
Lámina 44. Comportamiento del río Cuautla



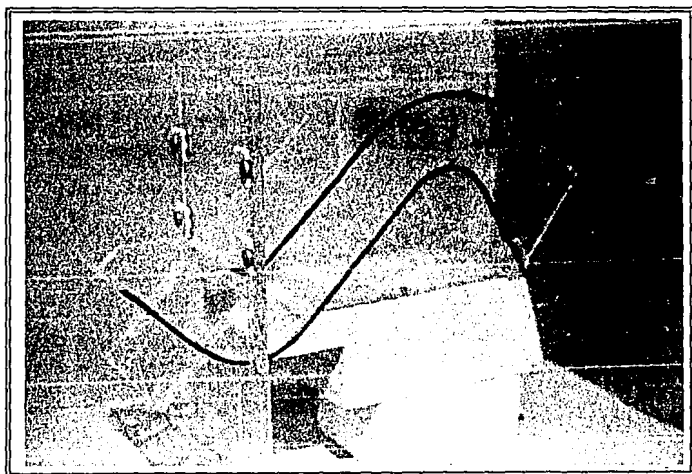
FOTOGRAFÍAS



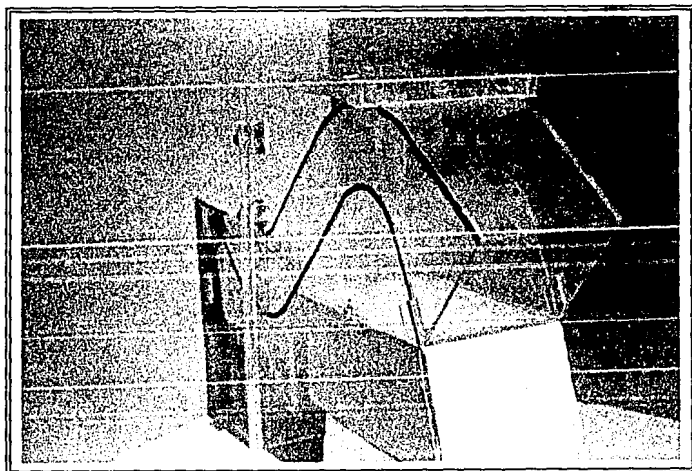
1. Modelo definitivo. Vista lateral



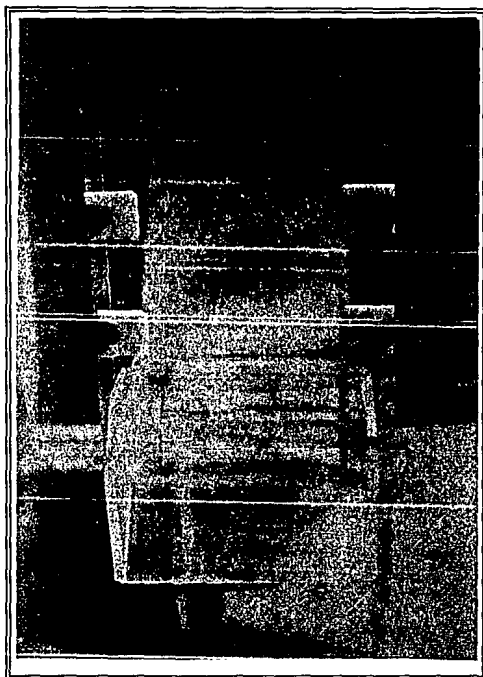
2. Modelo definitivo. Vista posterior



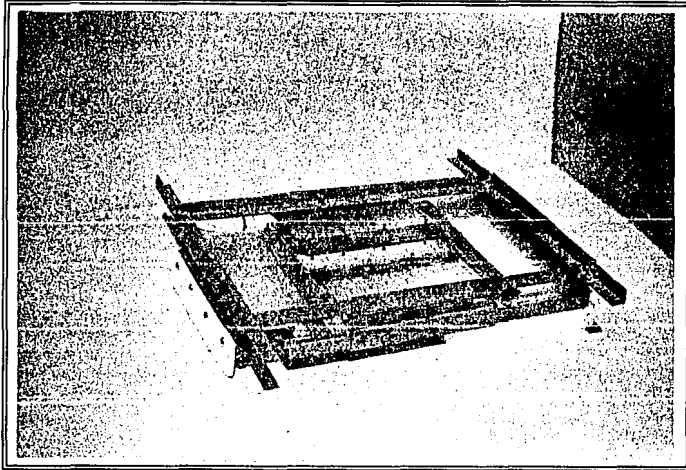
1. Modelo definitivo. Vista lateral



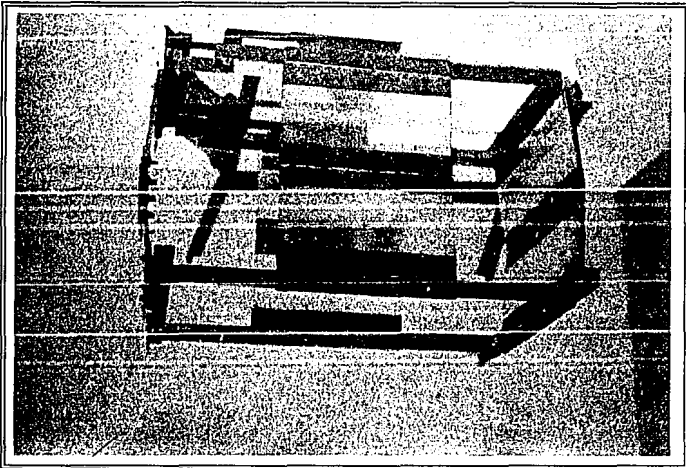
2. Modelo definitivo. Vista posterior



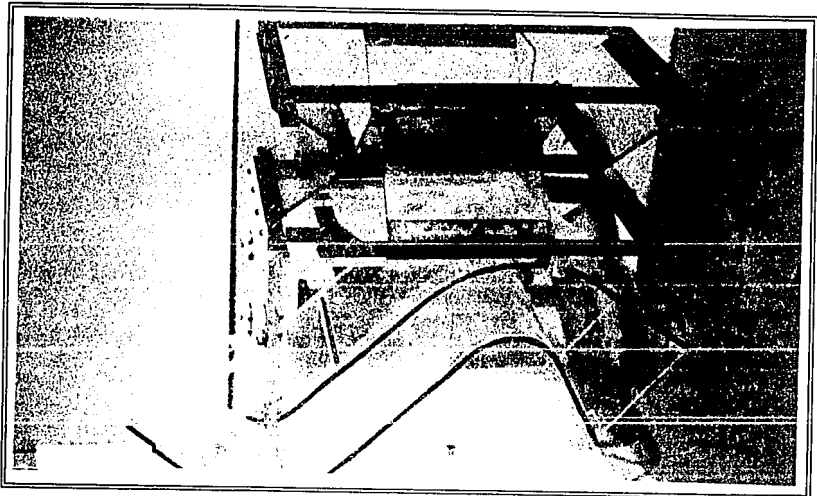
3. Modelo definitivo. Vista frontal



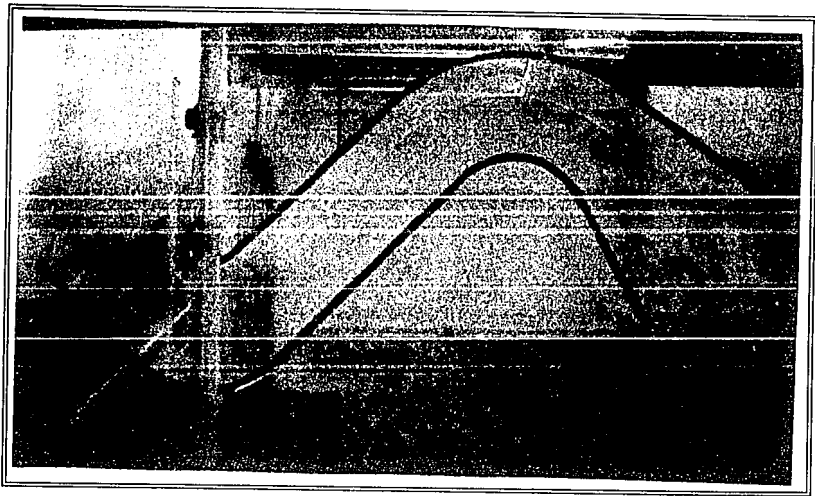
4. Mecanismo de movimiento vertical, cerrado



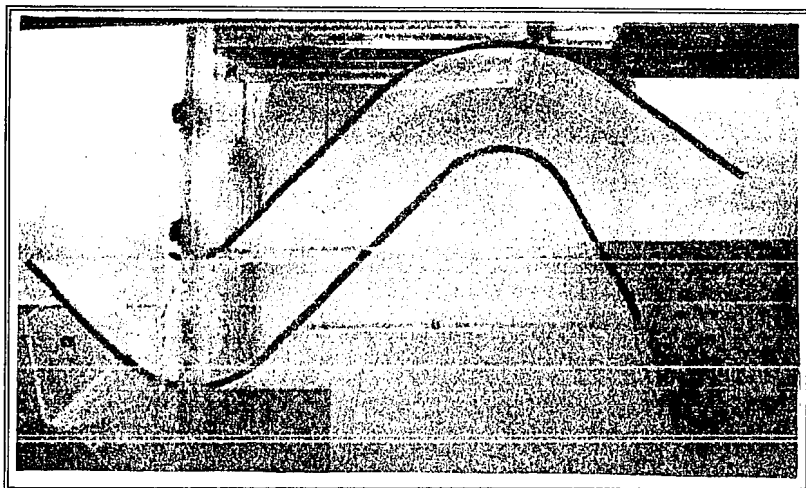
5. Mecanismo de movimiento vertical, abierto



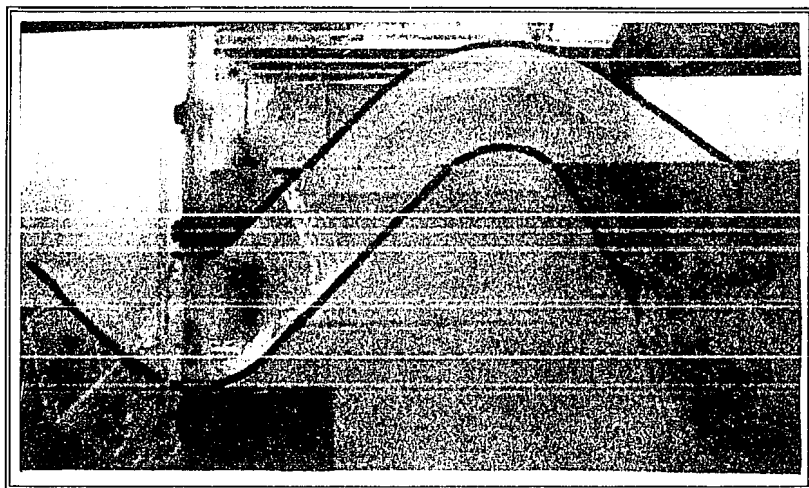
6. Vista en conjunto del sifón y del mecanismo de movimiento vertical



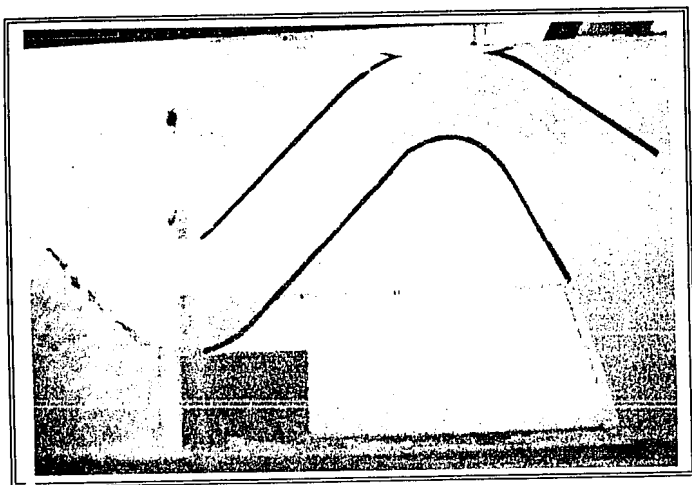
7. Funcionamiento del sifón. Inicio del cebado



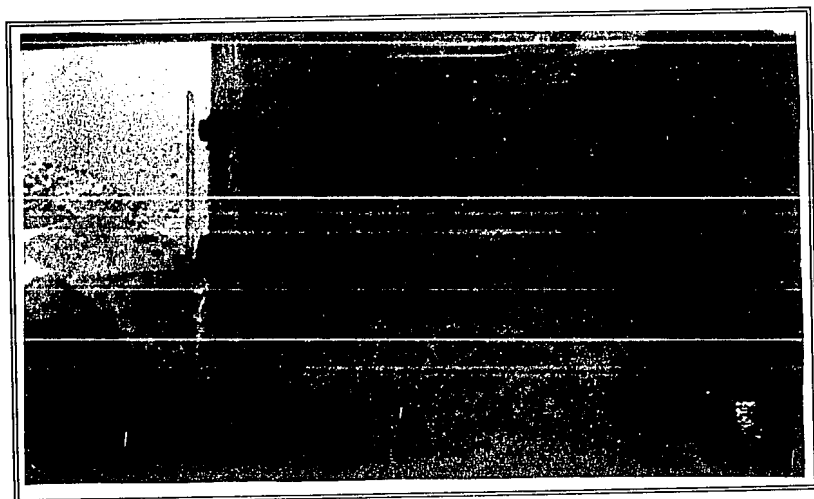
8. Ascenso del nivel de agua



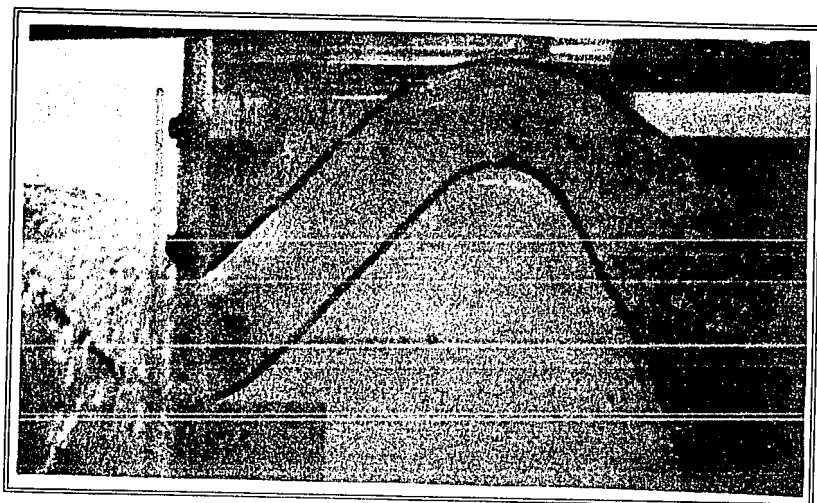
9. El agua comienza a entrar por el orificio de inyección



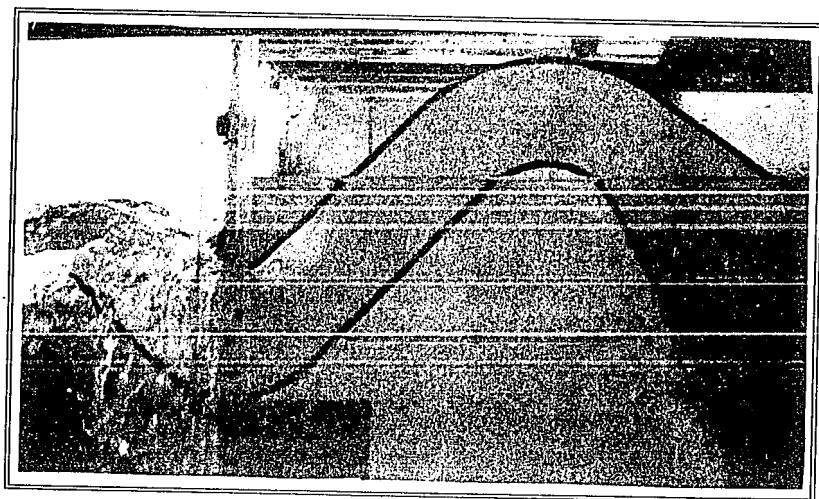
10. Expulsión de la burbuja de aire



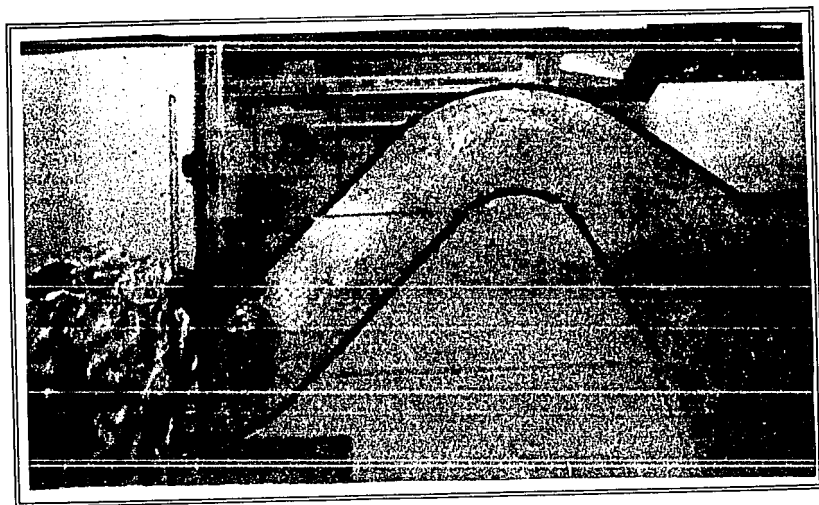
11. Cebado completo



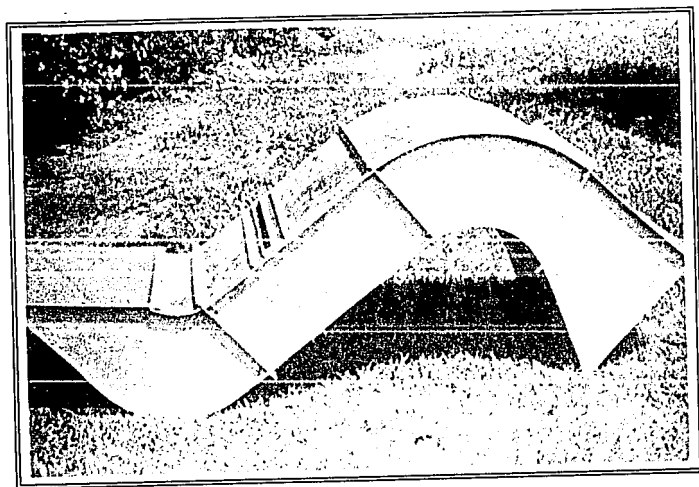
12. Operación normal del sifón flotando a un nivel medio



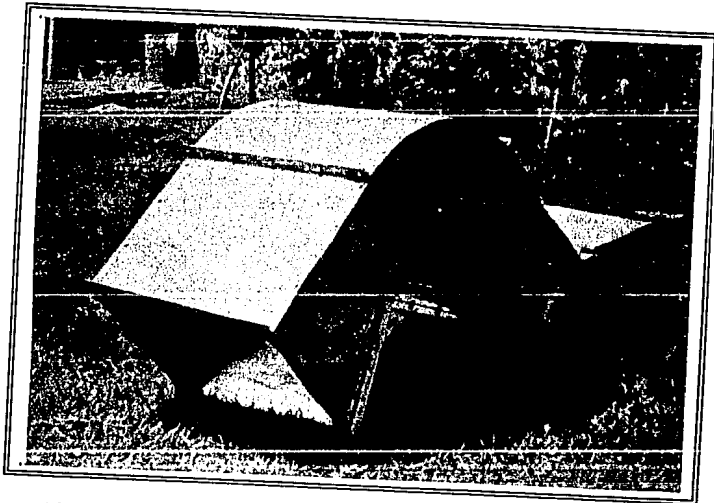
13. Operación del sifón flotando a un nivel alto



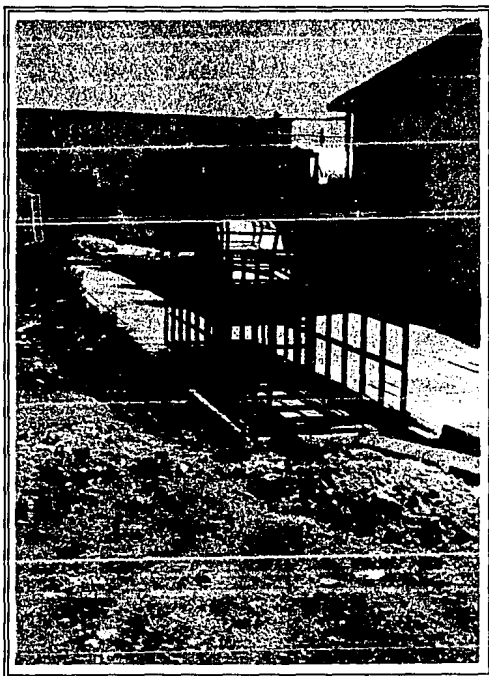
14. Descebado del sifón



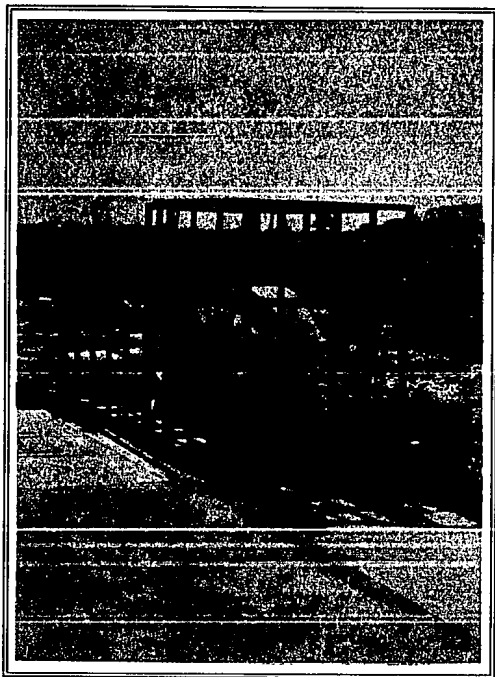
15. Vista lateral del prototipo construido con lámina galvanizada



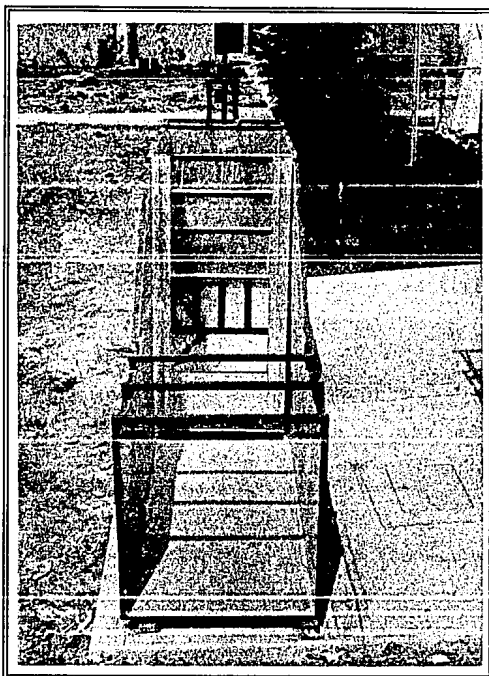
16. Vista posterior del sifón construido con lámina galvanizada



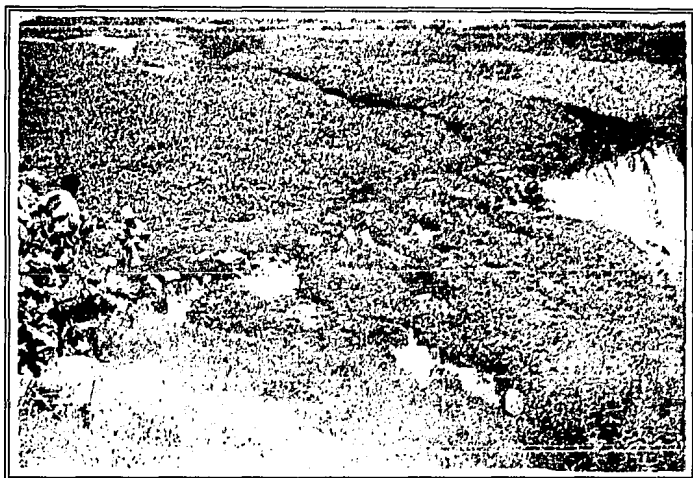
17. Vista frontal del sifón en la estructura del canal de alojamiento



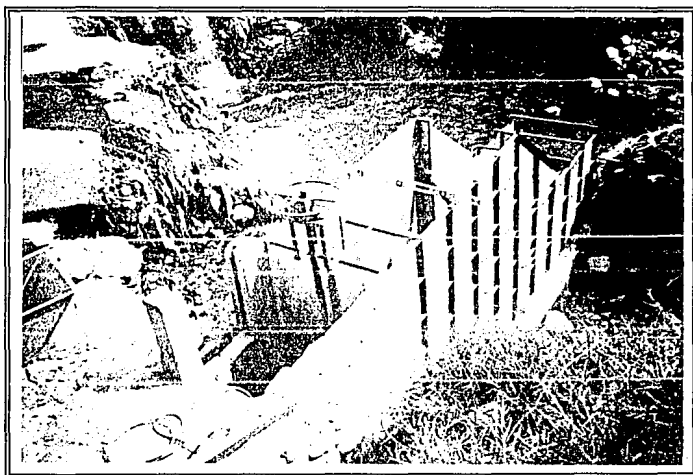
18. Vista posterior del sifón en el almacón



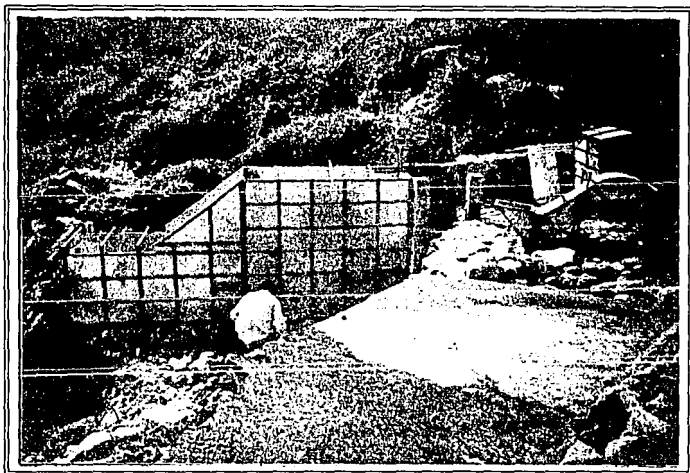
19. Vista frontal del canal de alojamiento revestido de lámina galvanizada



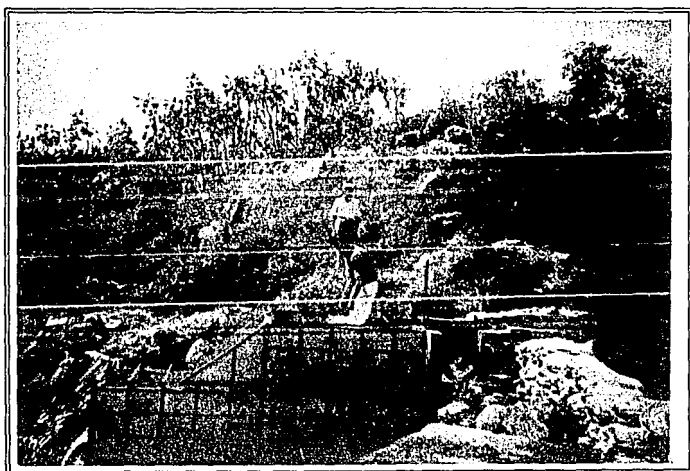
20. Condiciones originales del sitio de colocación del sifón



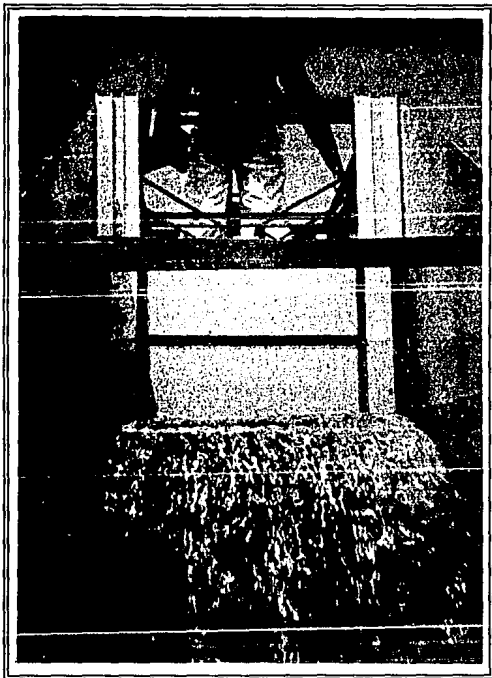
21. Colocación del sifón



22. Colocación del sifón



23. Operación del sifón



24. Operación del sifón



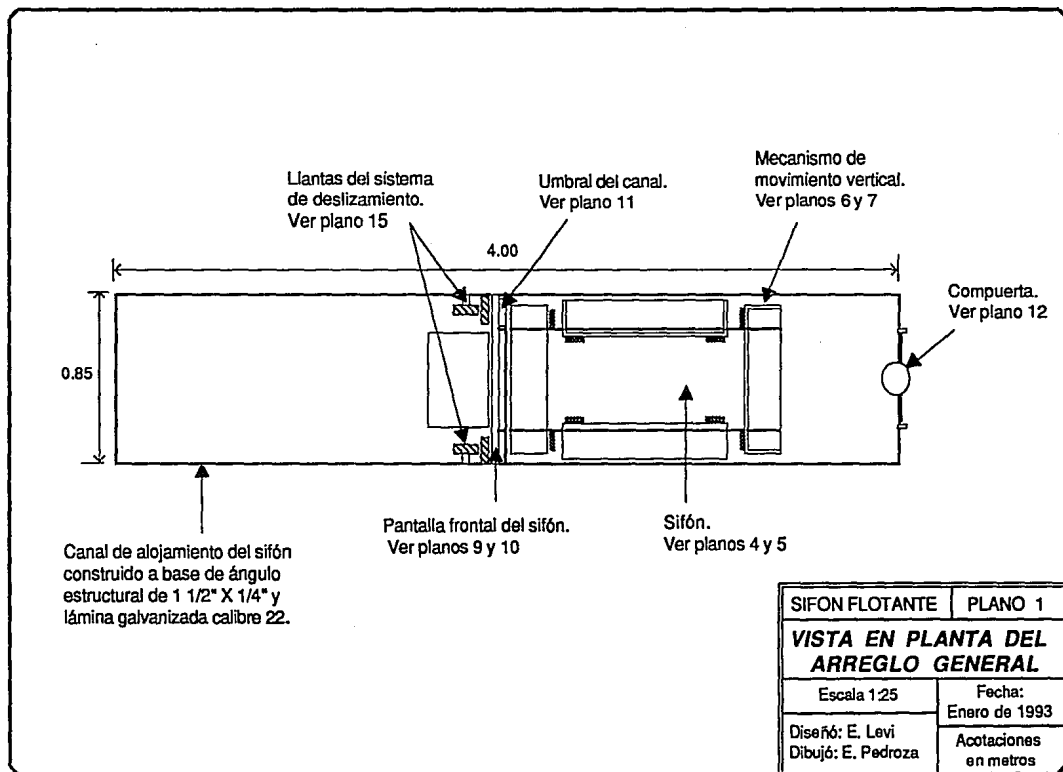
25. Pérdida del sifón por una avenida extraordinaria

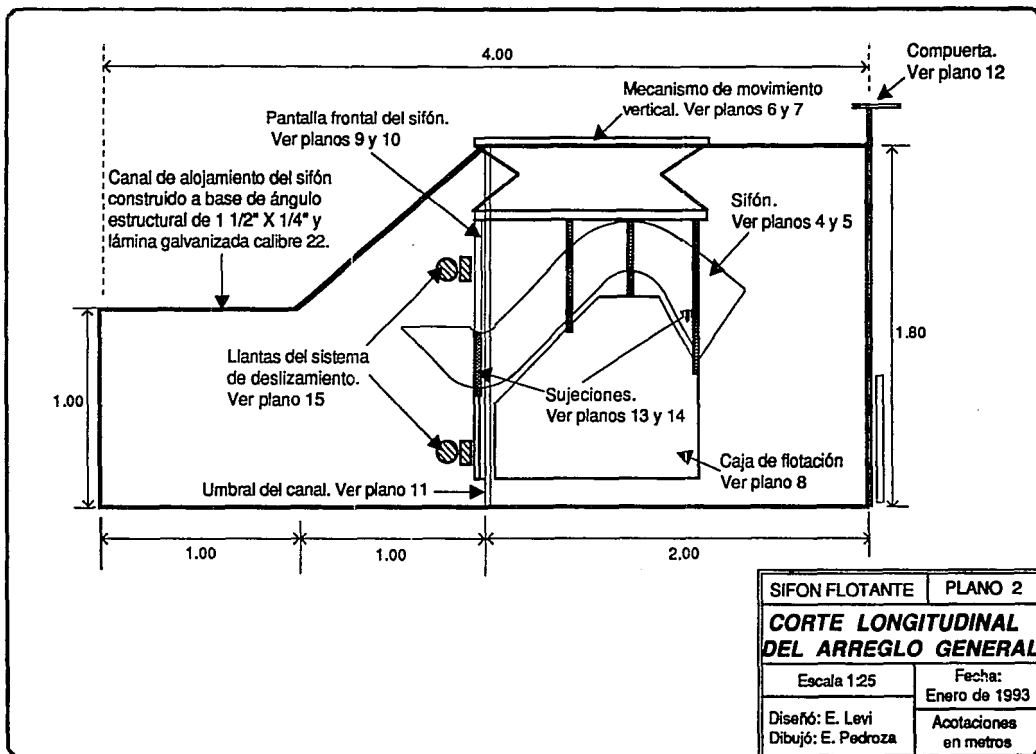


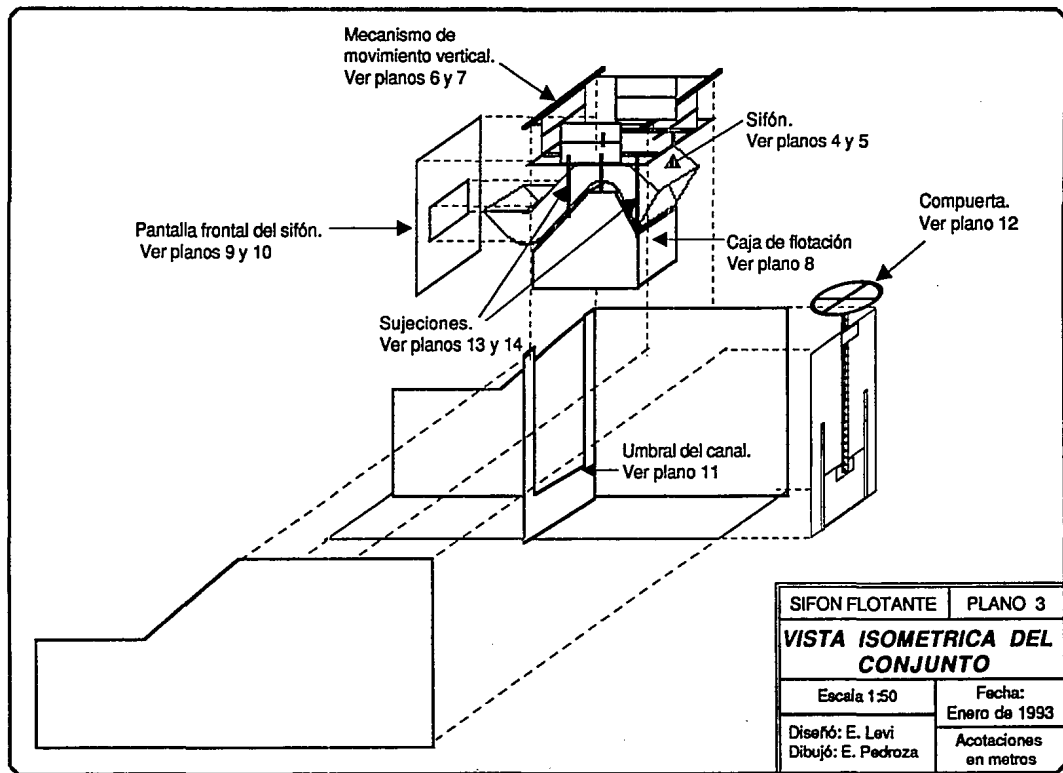
26. Condiciones del sitio después de la avenida

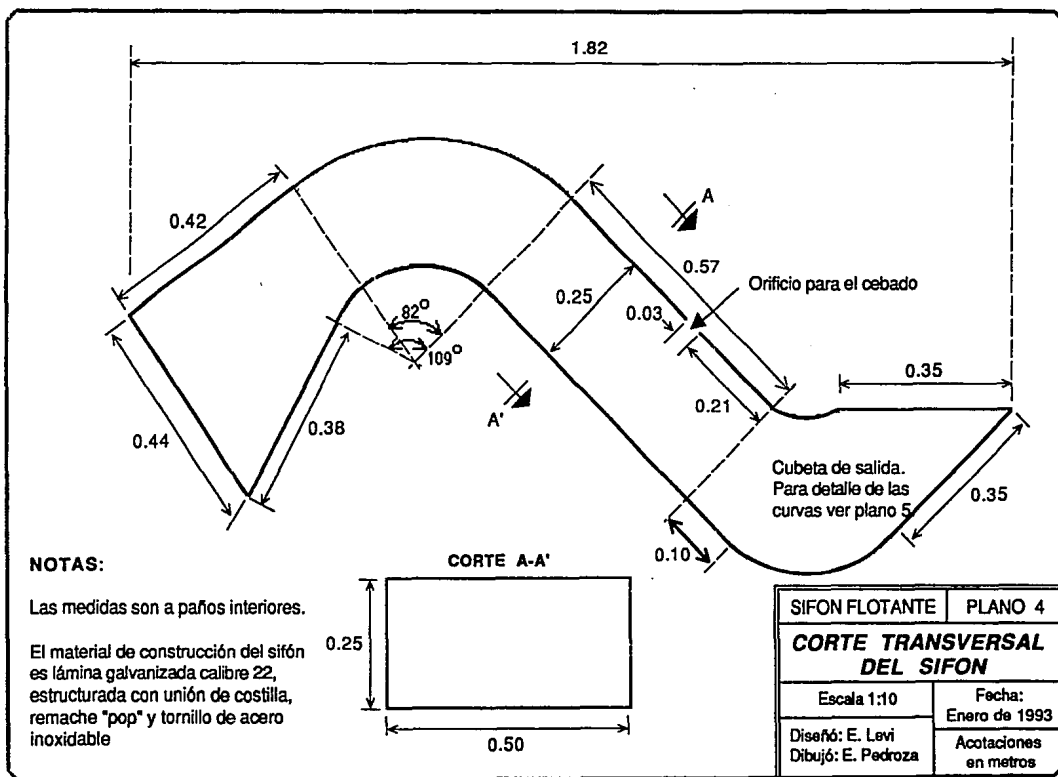
ANEXO G

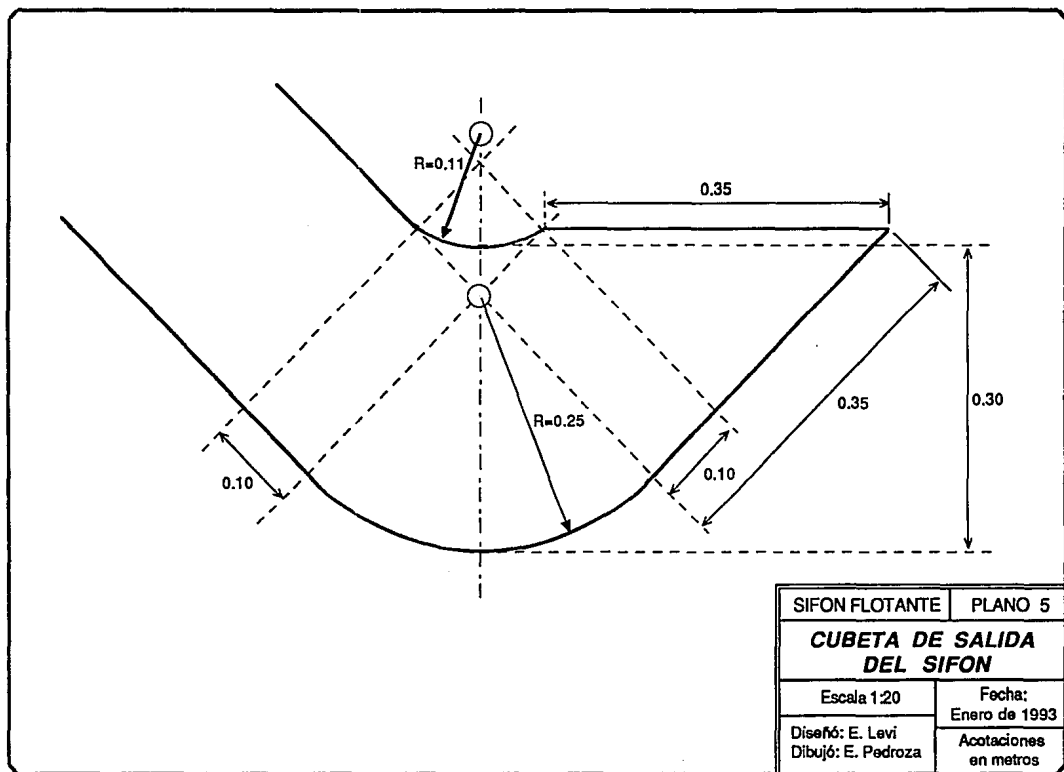
PLANOS CONSTRUCTIVOS

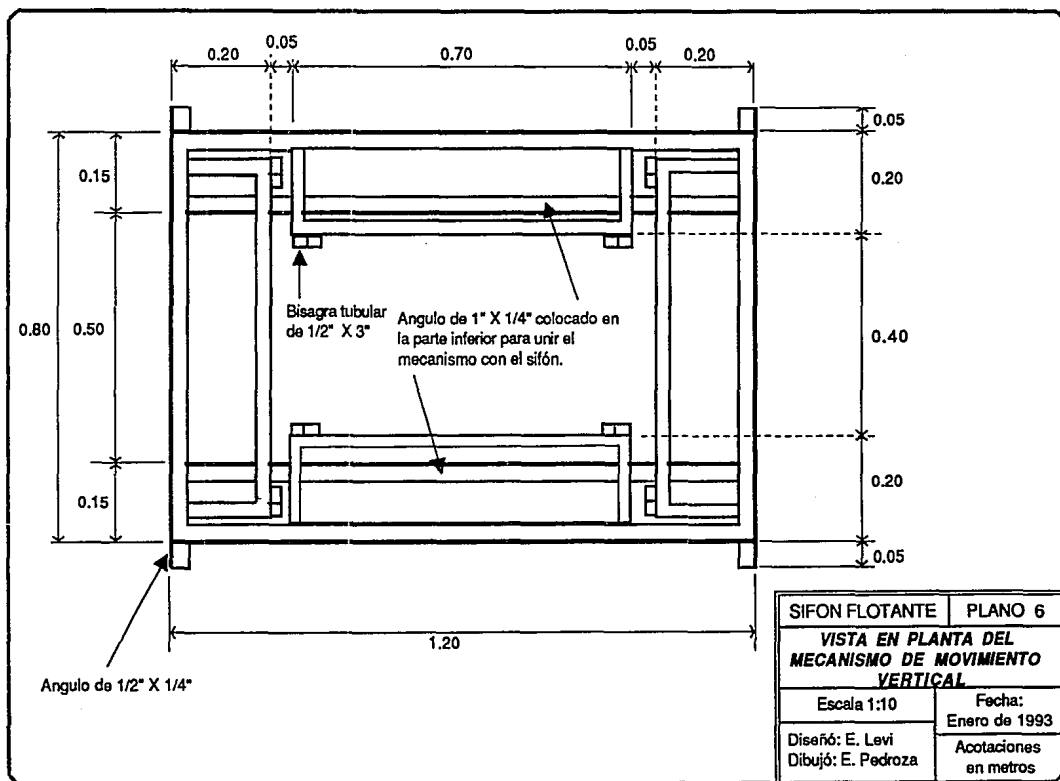


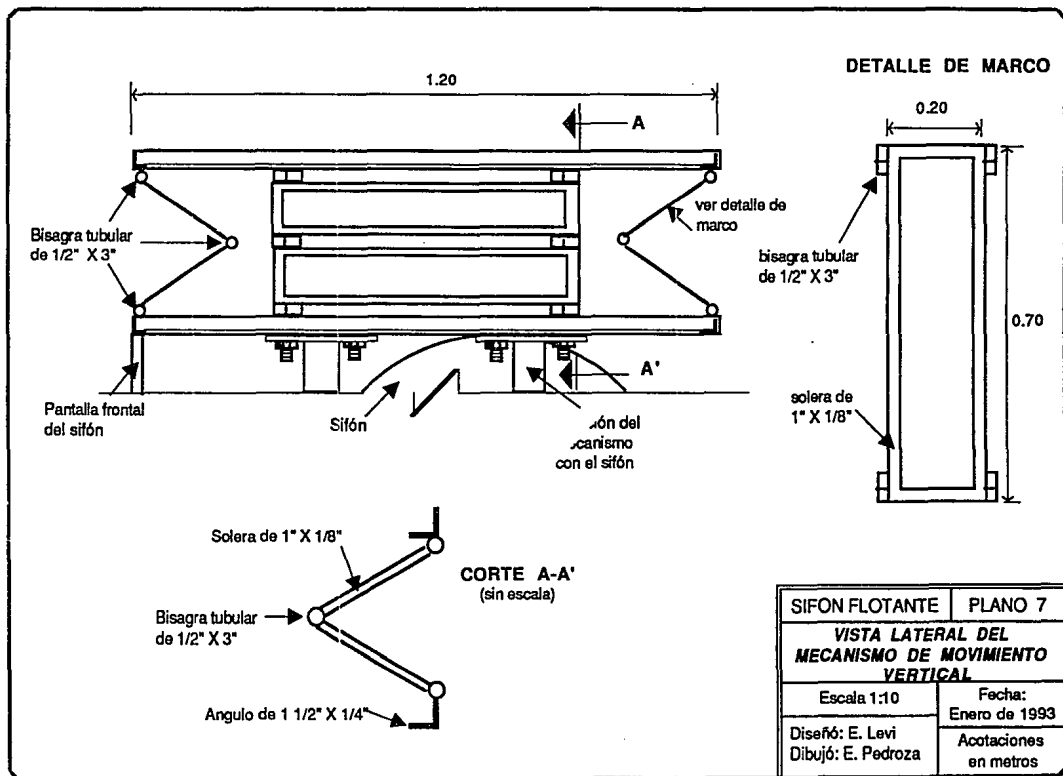


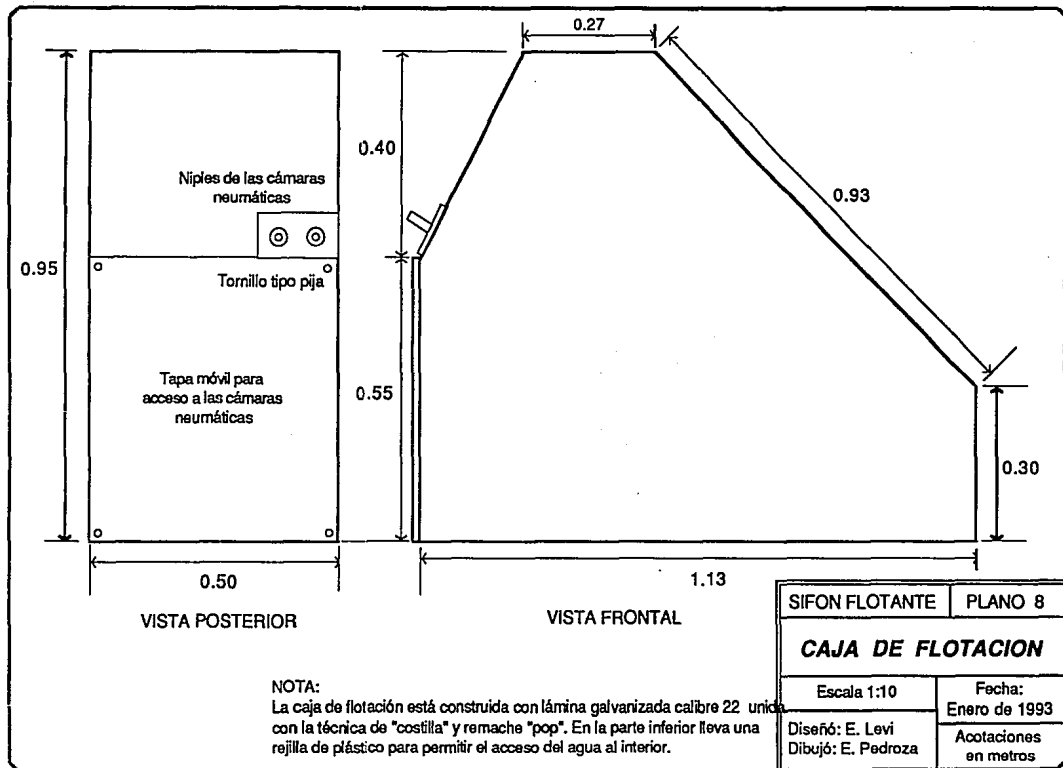








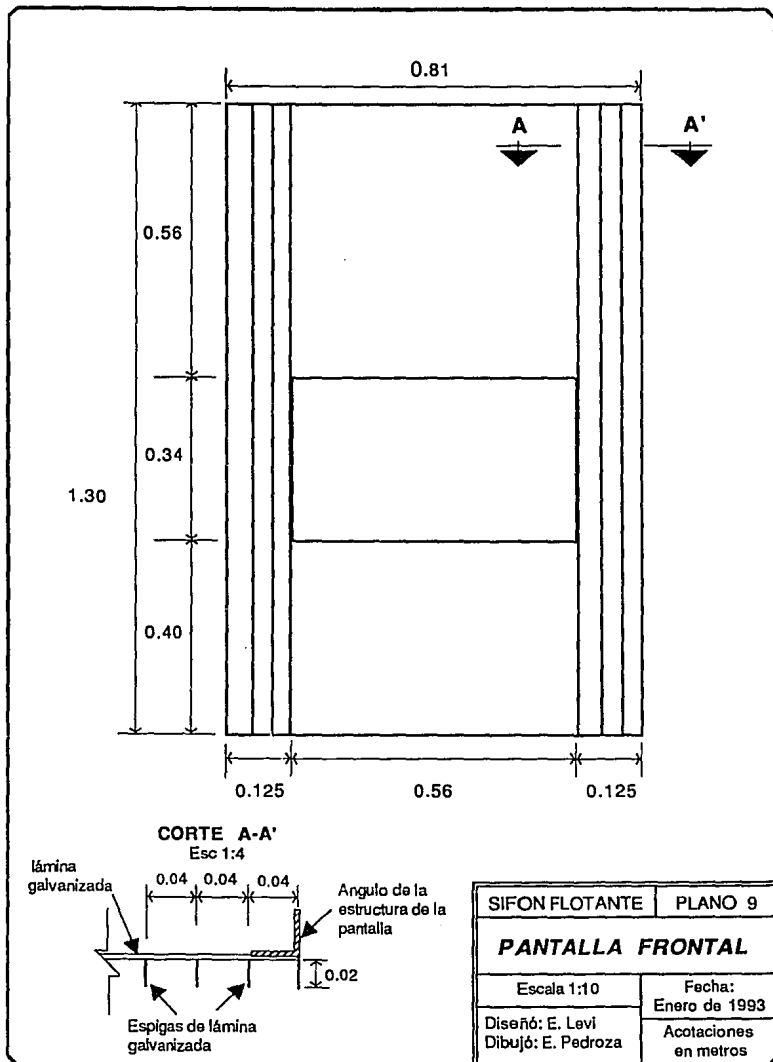


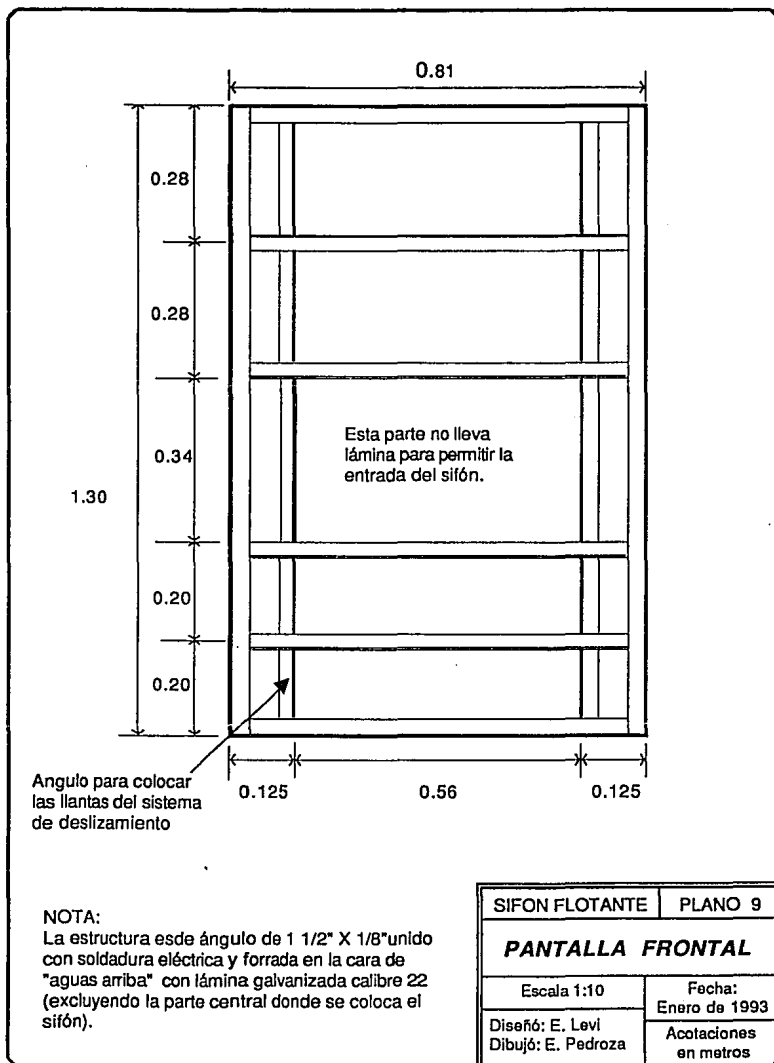


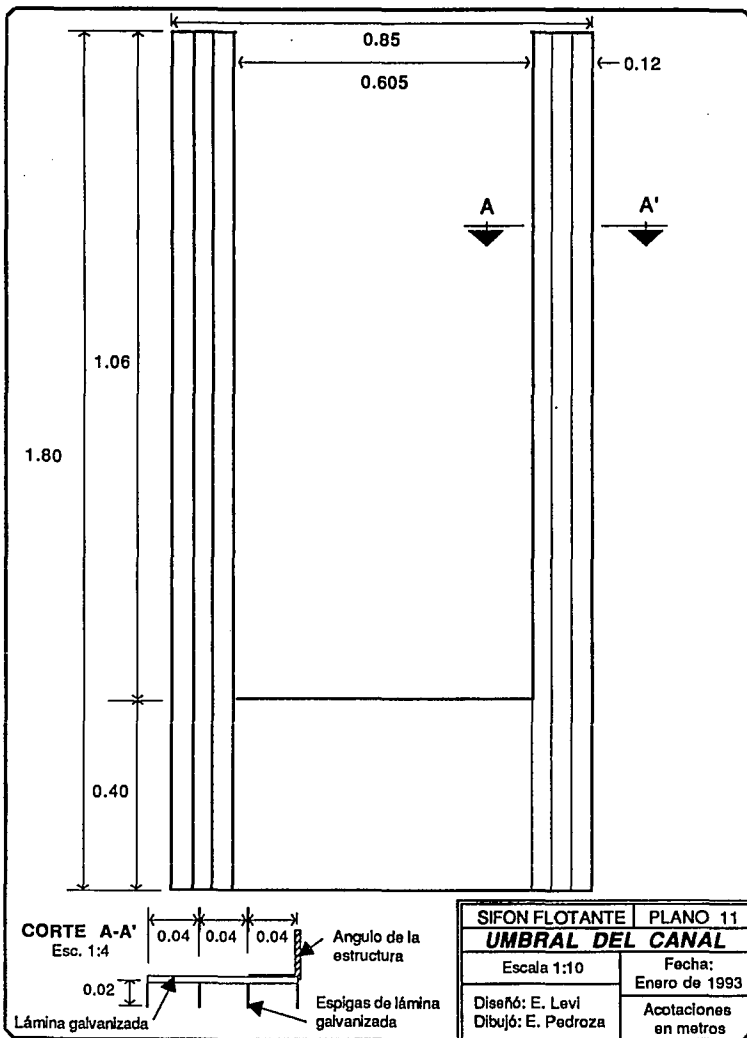
NOTA:

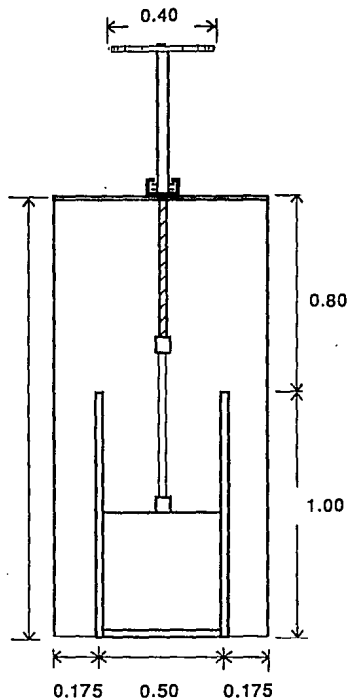
La caja de flotación está construida con lámina galvanizada calibre 22 unida con la técnica de "costilla" y remache "pop". En la parte inferior lleva una rejilla de plástico para permitir el acceso del agua al interior.

SIFON FLOTANTE	PLANO 8
CAJA DE FLOTACION	
Escala 1:10	Fecha: Enero de 1993
Diseño: E. Levi Dibujó: E. Pedroza	Acotaciones en metros



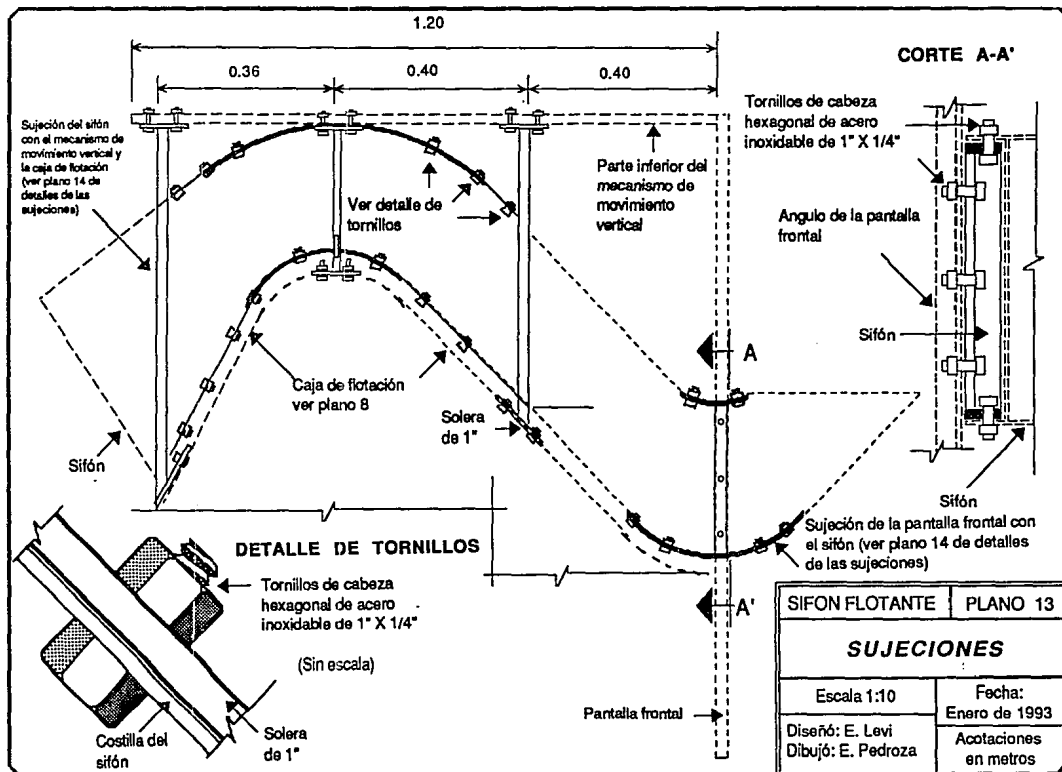




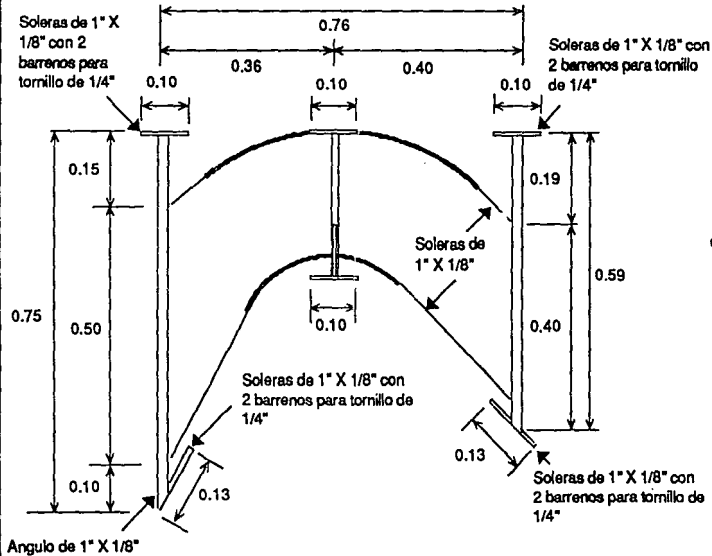


NOTA:
El vástago y la manivela fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua.

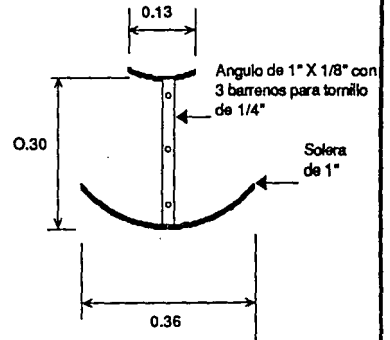
SIFON FLOTANTE	PLANO 12
COMPUERTA	
Escala 1:25	Fecha: Enero de 1993
Diseño: E. Levi Dibujó: E. Pedroza	Acotaciones en metros



SUJECION DEL SIFON CON EL MECANISMO DE MOVIMIENTO VERTICAL Y LA CAJA DE FLOTACION



SUJECION DEL SIFON CON LA PANTALLA FRONTAL



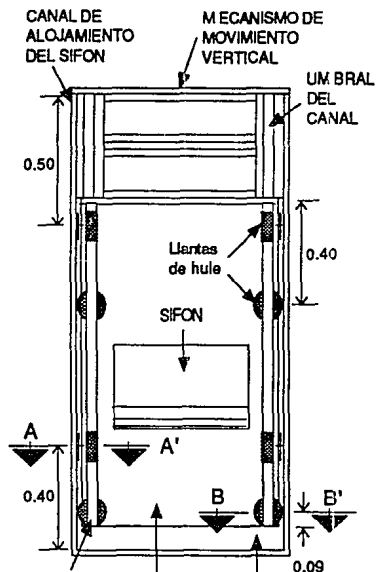
NOTAS:

Para la construcción de las curvas en las soleras se pueden ver sus radios de giro y medidas en los planos 4 y 5, ya que corresponden exactamente a las curvas que en esos planos se detallan.

Se necesita un par de cada sujeción para colocarlas a ambos lados del sifón.

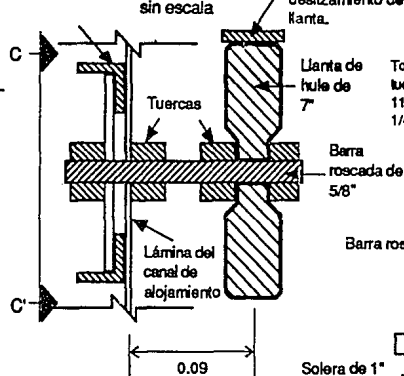
SIFON FLOTANTE	PLANO 14
DETALLE DE SUJECIONES	
Escala 1:10	Fecha: Enero de 1993
Diseño: E. Levi Dibujó: E. Pedroza	Anotaciones en metros

VISTA FRONTAL DEL CONJUNTO
Escala 1:20

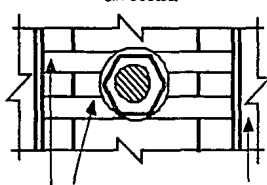


Angulo del canal de alojamiento

CORTE A-A'
sin escala

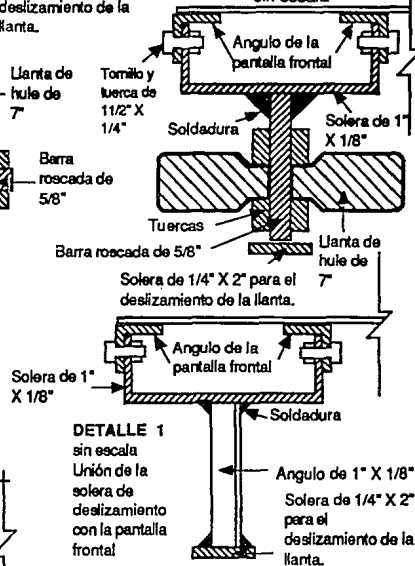


VISTA C-C'
sin escala



Soleras de 1/4" X 3/4" soldadas al ángulo para permitir ajustes a la posición de la llanta.

CORTE B-B'
sin escala



SIFON FLOTANTE PLANO 15

SISTEMA DE DESLIZAMIENTO

Escala S/E	Fecha: Enero de 1993
Diseño: E. Levi	Acotaciones en metros
Dibujó: E. Pedroza	

REFERENCIAS

1. Aldama R..A. A, *Diseño hidrodinámico y automatización fluidica en obras hidráulicas*, Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM, México DF, 1977.
2. Bunge M., *La investigación científica*, 2a. Edición, Editorial Ariel, Colección Métodos, México, 1983.
3. Goussard, J. *NEYRTEC equipment for irrigation canals. Planning, Operation, Rehabilitation and Automation of Irrigation Water Delivery Systems*. Editado por Darell D Zimbelman. American Society of Civil Engineers. United States of America. 1987. pp 121-132.
4. Levi L.E., Espinoza J., Enriquez S., Pedroza G. E., *Aforador de plantilla horizontal*, Informe interno, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, diciembre de 1990.
5. Levi L., E., *Un nuevo tipo de sifón con dispositivo para el cebado*, Memoria del congreso Científico Mexicano, Parte V, UNAM, México DF, 1953.
6. Levi L. E., Pedroza, G. E., Pereyra, R. F., *Sifón flotante*, Informe final, Proyecto IH- 9009, Dispositivos Fluídicos, Parte C, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Diciembre de 1990.
7. Sotelo A., G., *Hidráulica General, Volumen 1, Fundamentos*, Editorial Limusa, México, 1982.
8. Skertchly M. L., *Manual de diseño de estructuras de aforo*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, septiembre de 1988