

24'  
88



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

OPERACION HIDRAULICA DEL LABORATORIO DE HIDRAULICA  
DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

T E S I S   P R O F E S I O N A L  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :  
I N G E N I E R O   C I V I L  
P R E S E N T A :

ENRIQUE            MANUEL            GRIÑAN            GUTIERREZ

México, D. F.

1986



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.

## INDICE

	Página
I. INTRODUCCION.	12
I.1 Objetivo del trabajo.	13
II. INSTALACIONES.	17
II.1 Sistema de abastecimiento de agua y sanitario.	17
II.1.1 Abastecimiento de agua potable.	17
II.1.2 Red sanitaria.	18
II.2 Cárcamos.	20
II.2.1 Localización.	20
II.2.2 Dimensiones.	23
II.3 Tanques elevados de carga constante.	23
II.3.1 Localización.	23
II.3.2 Dimensiones.	24
II.3.3 Distribución a modelos a partir del tanque elevado de carga constante.	28
II.4 Sistema de bombeo.	31
II.4.1 Descripción.	31
II.4.2 Obtención del gasto real.	32
II.5 Modelos y estructuras de aforo.	39
III. OPERACION HIDRAULICA.	52
III.1 Aforos.	52
III.2 Vertedor de carga constante.	58

III.2.1 Cálculo del gasto de retorno a través del V.C.C.	58
III.2.2 Obtención del coeficiente "C".	66
III.3 Influencia entre tuberías, cárcamos y modelos.	70
III.4 Sistema de bombeo.	77
III.4.1 Potencia y eficiencia.	77
III.4.2 Gasto en bomba supuestamente nueva.	82
IV. PERDIDAS.	85
IV.1 Planteamiento de ecuación de la energía.	85
IV.2 Cálculo de pérdidas y gastos en modelos.	89
IV.3 Gasto máximo en modelos.	103
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	106
V.1 Reparaciones.	106
V.2 Operación del equipo de bombeo.	108
V.2.1 Costo de operación del equipo actual.	109
V.2.2 Alternativa para equipo de bombeo.	111
V.3 Funcionamiento simultáneo de modelos.	114
V.4 El laboratorio en la enseñanza de la hidráulica.	115
NOTACION	116
BIBLIOGRAFIA	117

## I. INTRODUCCION.

La historia del laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ingeniería se remonta al año de 1957 en que empieza su construcción, que se prolonga hasta 1961, año en que empieza a funcionar.

Ubicado en el cuerpo norte de la facultad, en el mismo sitio donde se encuentra actualmente. El laboratorio de entonces contaba con un cárcamo de almacenamiento, otro de bombeo, un tanque elevado y equipo de bombeo. Todos estos elementos continúan en servicio.

En cuanto a modelos, se tenían, en el patio descubierto colindante con la explanada, una red de tuberías, un canal de aforos y un dispositivo calibrador de vertedores. En la zona de laboratorios de la facultad se tenía el laboratorio de máquinas hidráulicas con tres turbinas que aún se conservan.

La alimentación a los modelos del patio descubierto desde el tanque elevado se hacía por medio de dos tuberías y la alimentación a las tuberías Francis y Kaplan se hacía por medio de una tubería para cada una como hasta ahora. La turbina Pelton era alimentada directamente por una bomba

tal como la podemos encontrar.

El laboratorio fué creciendo con los años, se agregaron los modelos de bombas en el laboratorio de máquinas hidráulicas y se fueron aumentando modelos en el patio descubierto hasta que el diseño hidráulico original no fué suficiente.

En el año de 1975 se procedió a hacer el proyecto y remodelación del laboratorio, quedando tal y como se conoce ahora. El cambio esencial fué el rediseño de la red de tuberías, quedando, como se muestra en el plano II.3. Ahora, en lugar de dos tuberías para alimentar a modelos, se cuenta con cuatro de distintos diámetros.

Pasando ahora al año de 1986, se cuenta con doce modelos alimentados por el tanque elevado, además de que se cuenta con un tanque elevado propio para la red de tuberías, cubículos de trabajo dentro del laboratorio y en un futuro una sala de trabajo con terminal de computadora, archivo audiovisual y biblioteca.

#### I.1 Objetivos del trabajo.

Los objetivos del presente trabajo son: hacer una

descripción de cómo se encuentra físicamente el laboratorio en todos sus elementos a partir del tanque elevado original, hacer un análisis de la operación hidráulica en cuanto a equipo de bombeo y tuberías se refiere. Y, por último, dar una serie de conclusiones y recomendaciones tendientes a mejorar el funcionamiento actual del laboratorio refiriéndose exclusivamente a la operación hidráulica.

A continuación se hace un resumen sobre el contenido de cada capítulo.

En el segundo capítulo se hace un análisis general de las instalaciones, como son: suministro de agua potable, drenaje, cárcamos, tanques elevados, bombas y modelos.

Se incluyen planos y croquis con dimensiones, detalles y volúmenes.

En cuanto al equipo de bombeo se hace una prueba tendiente a cuantificar el gasto real por bomba.

El tercer capítulo es un estudio sobre la operación hidráulica del laboratorio.

En primer lugar, hay una prueba para determinar el

gasto máximo aforable por modelo y el gasto de retorno al cárcamo de bombeo.

Enseguida se hace un análisis del funcionamiento del vertedor de carga constante, obteniendo el gasto de retorno. Se complementa el análisis con gráficas.

En tercer lugar se hace un análisis del funcionamiento de todos los elementos del laboratorio trabajando en conjunto. Aquí se puede apreciar como afecta al funcionamiento de un modelo el poner a trabajar otro simultáneamente.

Por último, se hace un análisis de la potencia y eficiencia de la bomba en operación comparándola con una bomba nueva de iguales características. Esto último es una suposición.

El cuarto capítulo trata de las pérdidas calculadas en tuberías y accesorios, comparándolas con las pérdidas reales. Además se hace el aforo del gasto máximo por toma e igualmente se compara con el gasto máximo calculado por toma.

El quinto capítulo, como ya se había mencionado,

presenta una serie de conclusiones y recomendaciones tendientes a mejorar el laboratorio.

## II. INSTALACIONES.

### II.1 Sistema de abastecimiento de agua y sanitario.

#### II.1.1 Abastecimiento de agua potable.

El abastecimiento de agua potable al laboratorio se efectúa por medio de dos tuberías. La primera, atraviesa el patio de modelos paralelamente a los cubículos, (ver plano II.1). Esta línea es de 12" de diámetro y viene de la alimentación general de C.U.; está encargada de alimentar por medio de una derivación de 3" al cárcamo de bombeo principal para después continuar a otras partes de la facultad. Otra derivación de 4" alimenta los baños del laboratorio y después algunos modelos que requieren de agua potable para su funcionamiento, lo cual se puede apreciar en el mismo plano.

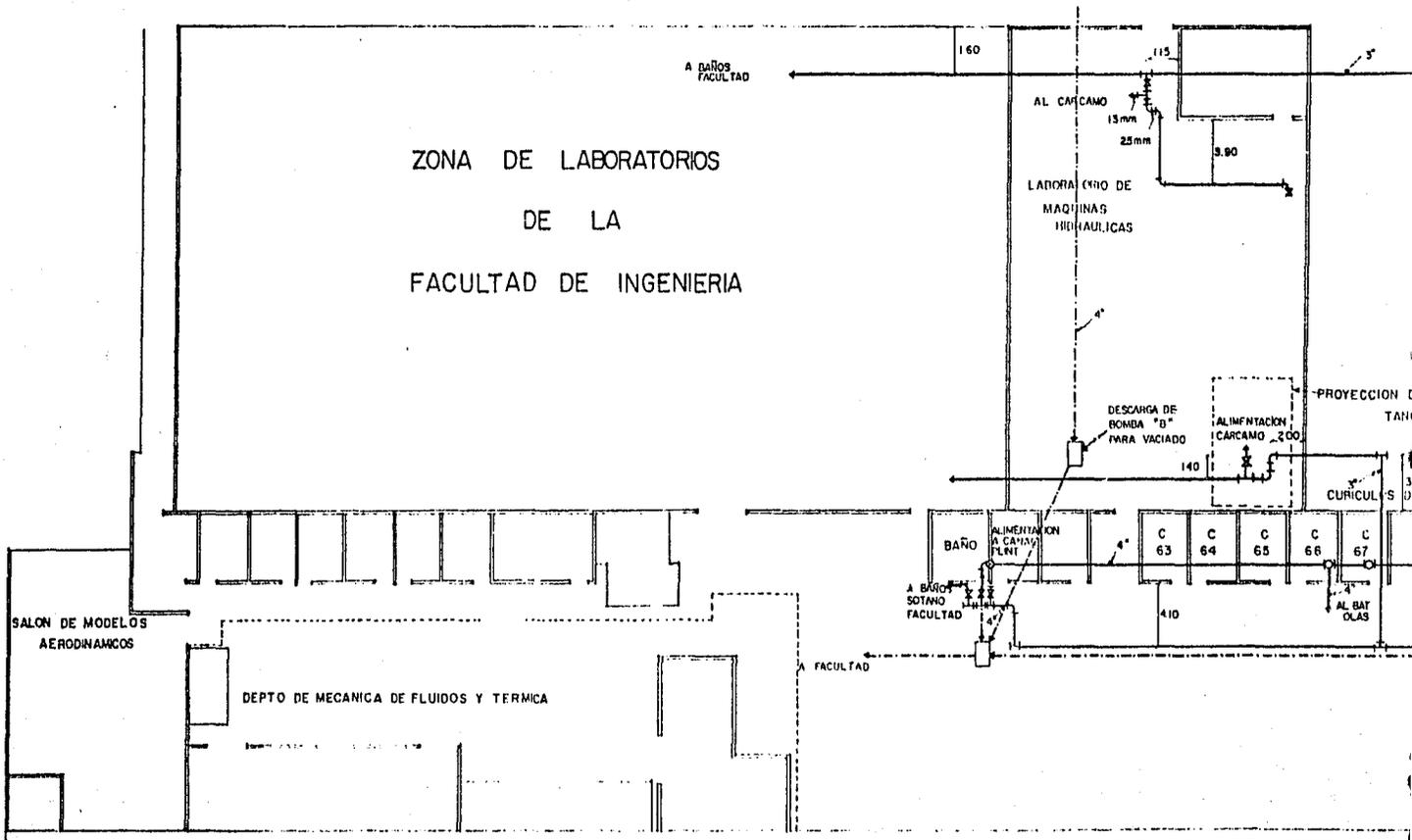
La segunda tubería es de 3" y atraviesa por la zona de laboratorios de la facultad paralelamente a la línea anterior. Proviene de la facultad de arquitectura y continúa hacia los sanitarios del edificio principal de nuestra facultad. Esta tubería alimenta al cárcamo del tanque elevado sur y a otras tomas que se encuentran en esa zona del laboratorio.

La ubicación de registros, válvulas y accesorios se puede consultar en el plano II.1 ya mencionado.

#### II.1.2 Red sanitaria.

La red de drenaje se utiliza para vaciar los cárcamos y el modelo de playa cuando necesitan limpieza y para absorber en parte el agua de las lluvias. Los detalles de ubicación, registros, etc., se pueden apreciar en el mismo plano II.1.

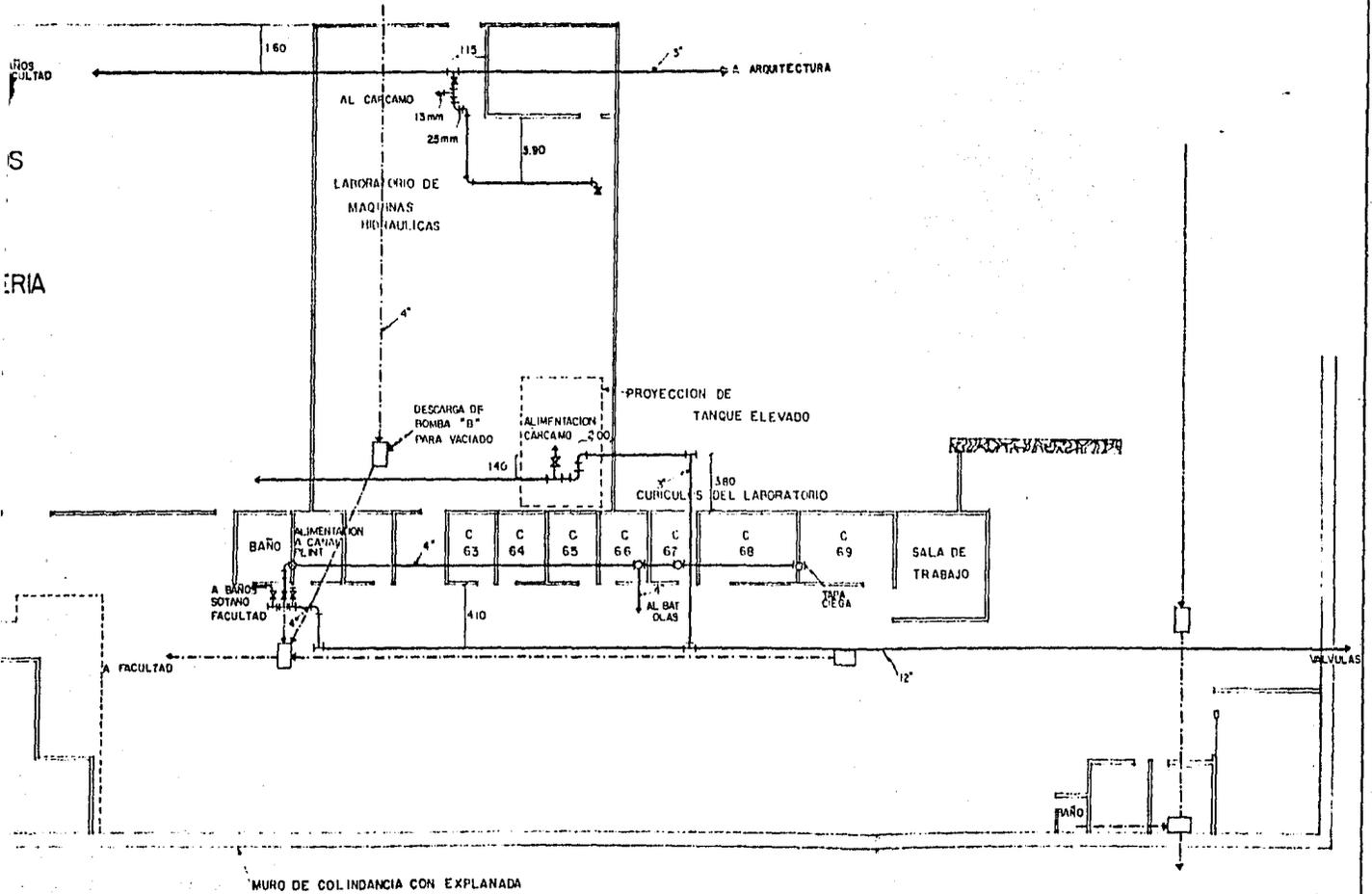
ZONA DE LABORATORIOS  
DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA



MURO DE COLINDANCIA CON EXPLANADA

SIMBOLOGIA

- AGUA POTABLE
- - - DRENAJE
- REGISTRO
- SUBIDA DE AGUA
- ⊗ VALVULA DE COMPUERTA
- ⊕ COJO
- ⊙ TOMA



- AGUA POTABLE
- - - DRENAL
- REGISTRO
- SUBIDA DE AGUA
- ⊗ VALVULA DE COMPUESTA
- ⊔ COFO
- TONA

UNAM	
FACULTAD DE INGENIERIA	
LAB. DE HIDRAULICA	DICTyG
PLANO II.1	
RED DE AGUA POTABLE Y SANITARIA	
ENRIQUE MANUEL GRINAN GUTIERREZ	
MONT. A. NAVA M.	ENERO 1986
1125	LA CORRAL V. REYES R. P. DE GRINAN

## II.2 Cárcamos.

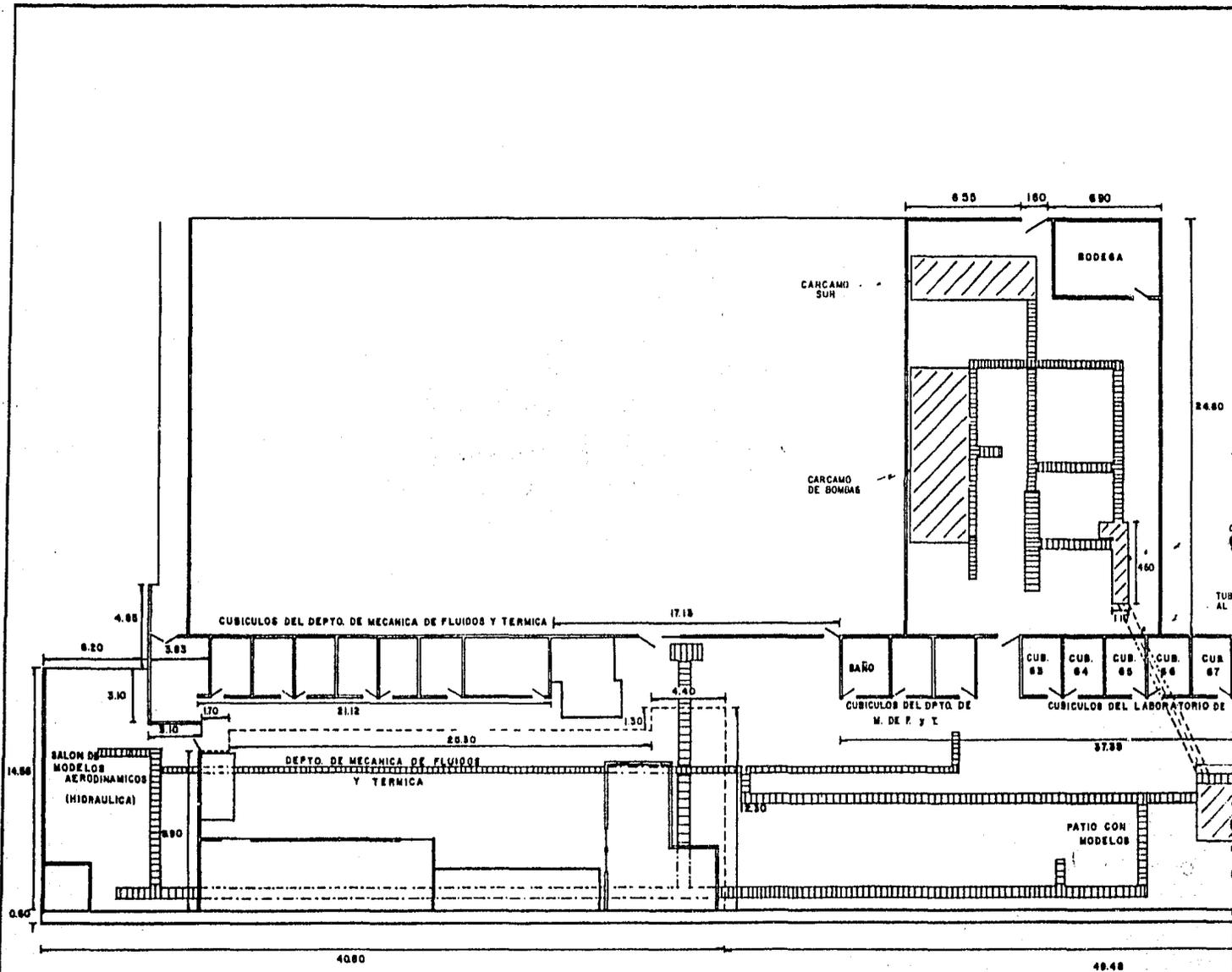
### II.2.1 Localización.

El laboratorio cuenta con cuatro cárcamos. El primero, que es de almacenamiento, se localiza en el patio de modelos y es el que almacena toda el agua que ha pasado por los modelos ubicados en este patio para después mandarla por medio de cuatro tubos al segundo, que es de bombeo y se localiza justo bajo el tanque elevado de carga constante norte, que mas adelante se describirá, en el laboratorio de máquinas hidráulicas.

El tercer cárcamo es de bombeo y almacenamiento. Se localiza también dentro del laboratorio de máquinas hidráulicas bajo el tanque elevado sur. Este cárcamo sólo alimenta a dos modelos.

El cuarto, se localiza dentro del laboratorio de máquinas hidráulicas y se utiliza para la alimentación a los modelos de bombas.

Para mayor detalle en cuanto a la localización de cárcamos se puede recurrir a los planos II.2 que se refieren a ubicación y detalles de cárcamos.

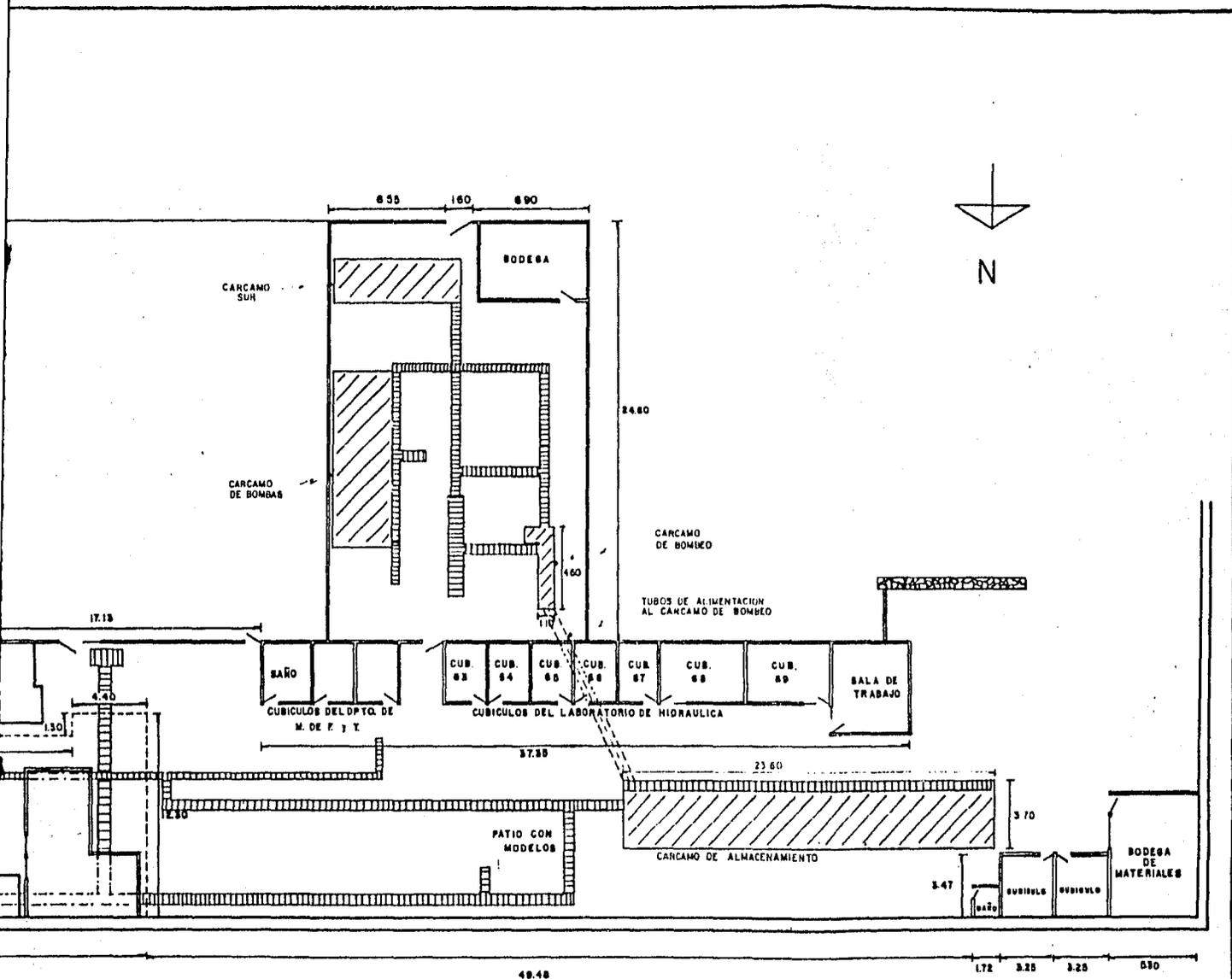


CARCAMOS

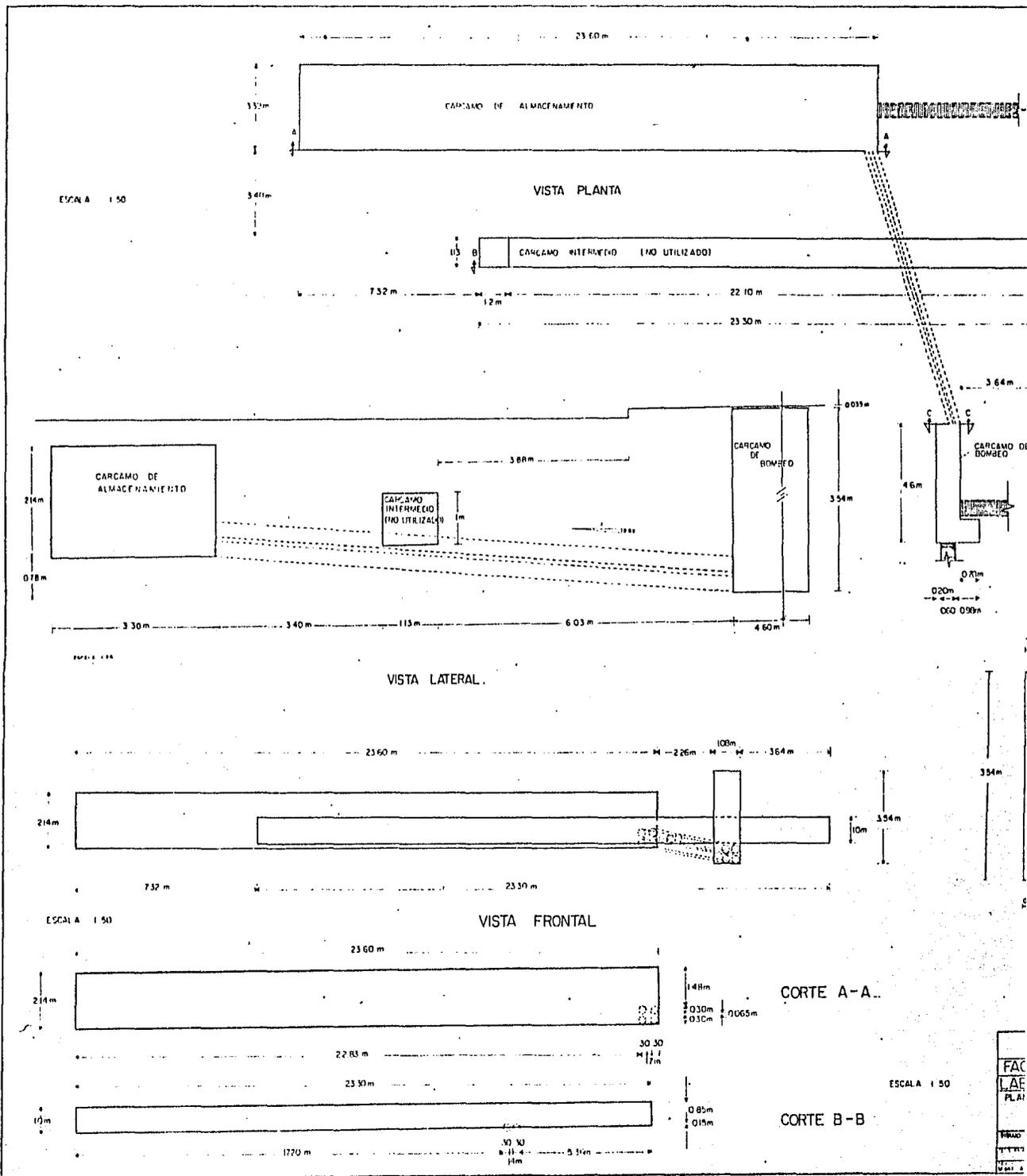
SIMBOLOGIA

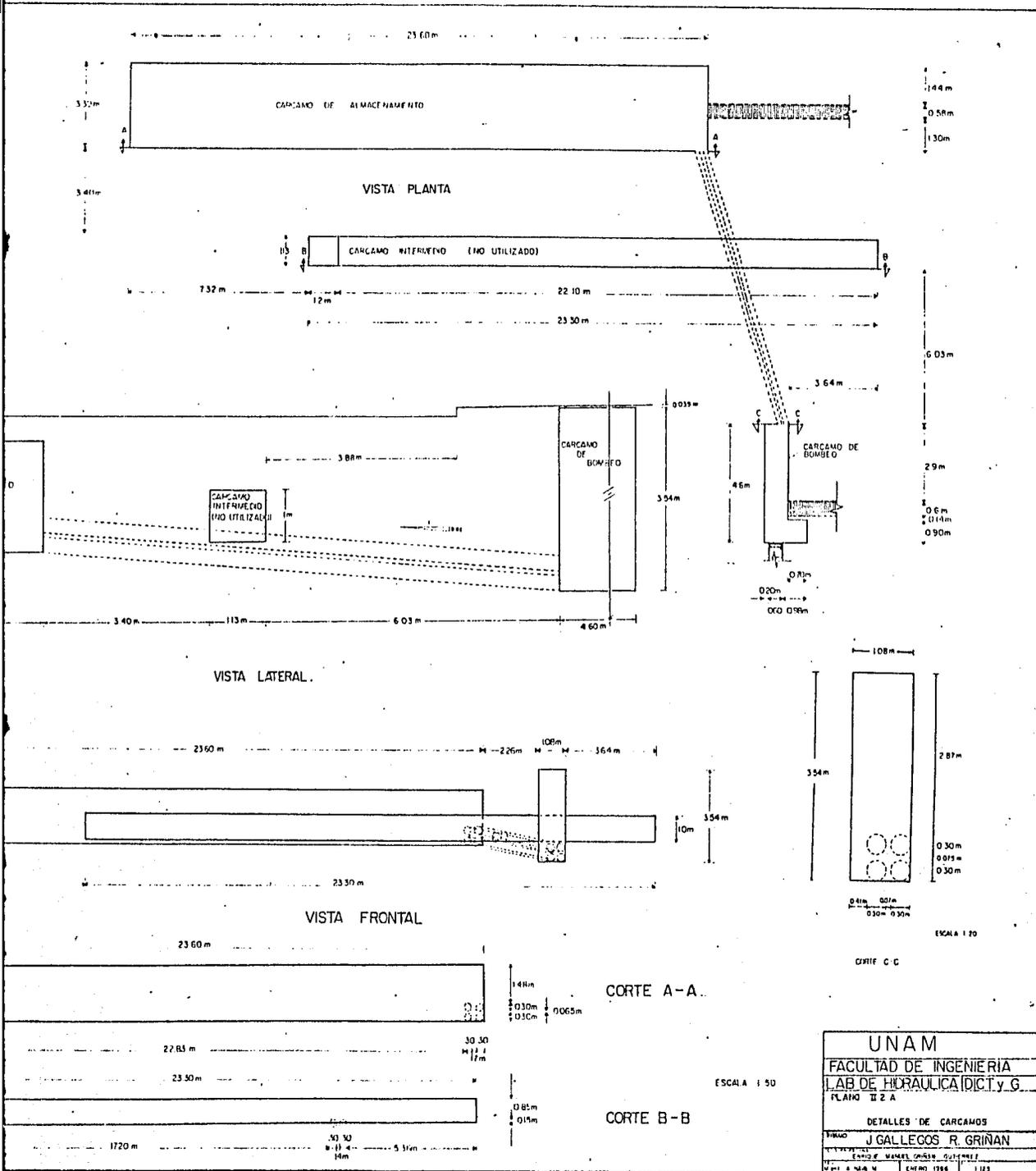


REJILLAS DE RETORNO



UNAM	
FACULTAD DE INGENIERIA	
PLANO II. 2 UBICACION DE CARCAMOS Y REJILLAS DE RETORNO	
DIBUJO: A. CORRAL R. GRINAN	ENERO DE 1986
REVISOR: M.C. ALVARO MUÑOZ M.	REVISOR: M. LANTUERO HAVA M.





<b>UNAM</b>	
FACULTAD DE INGENIERIA	
LAB. DE HIDRAULICA (DICT. y G.)	
PLANO II 2 A	
DETALLES DE CARGAMOS	
FINO J GALLEGOS R. GRINAN	
DISEÑO: MANUEL OSORIO GUTIERREZ	
UNAM	ENTRO 1986
1123	1123

### II.2.2 Dimensiones.

Las dimensiones y capacidades de los cárcamos objeto de éste trabajo se indican a continuación:

Cárcamo:	Longitud	Ancho	Nivel del agua	Capacidad m <sup>3</sup>
1) Almacenamiento	23.60	3.30	0.92	71.65
2) Bombeo	4.60	1.08	2.14	10.63

Las dimensiones son en metros y la profundidad es con toda el agua disponible para circulación dentro de los cárcamos a 1.40 m por debajo del piso del laboratorio de máquinas hidráulicas, con ningún modelo ni bomba funcionando en el laboratorio y ningún almacenamiento en tanque elevado o modelos.

Los cárcamos tienen mayor capacidad, la capacidad indicada es la cantidad de agua almacenada al momento de hacer las pruebas.

## II.3 Tanques elevados de carga constante.

### II.3.1 Localización.

El laboratorio cuenta con dos tanques elevados de

carga constante, como ya se había mencionado.

El norte, como se le llamó al describir los cárcamos, se encuentra dentro del laboratorio de máquinas hidráulicas justo al lado de la comunicación entre el patio de modelos y el mencionado laboratorio de máquinas. Este tanque es de concreto y cuenta con un vertedor de carga constante con siete canaletas. Suministra una carga de 5.62 m. tomando como referencia el piso del laboratorio y la cresta del vertedor de carga constante, (ver los croquis II.A).

El sur es una estructura de 6 X 6 m, proporciona una carga de 6 m. Su funcionamiento no se analiza en este trabajo, pues, como se ha mencionado previamente, únicamente alimenta a dos modelos y por el momento se considera como demasiado específico.

Además, a partir de éste momento, se conocerá al tanque elevado de carga constante norte como t.e., pues se mencionará frecuentemente.

### II.3.2 Dimensiones.

De acuerdo a los croquis II.A el t.e. tiene las siguientes dimensiones interiores:

Largo:	5.93 m	(sin muros tranquil.)
Ancho:	4.30 m	
Prof.:	0.92 m	(tomada a cresta de vertedor de carga constante)

Por lo tanto: Volúmen= 23.46 m<sup>3</sup>

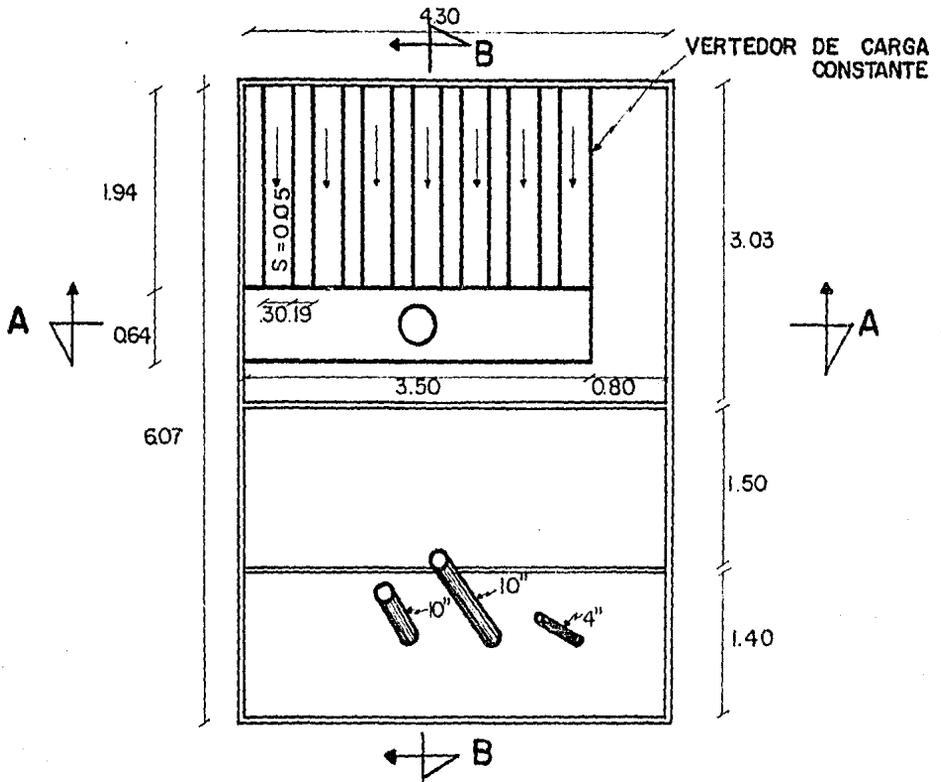
Descontando el volúmen del vertedor, ya que se encuentra sumergido cuando el tanque está lleno:

7 canaletas de 1.94 X 0.30 X 0.30	= 1.22 m <sup>3</sup>
1 tanque colector de 0.64 X 0.50 X 3.50	= 1.12 m <sup>3</sup>
	-----
TOTAL	= 2.34 m <sup>3</sup>

Finalmente el volúmen es:

$$23.46 - 2.34 = 21.12 \text{ m}^3$$

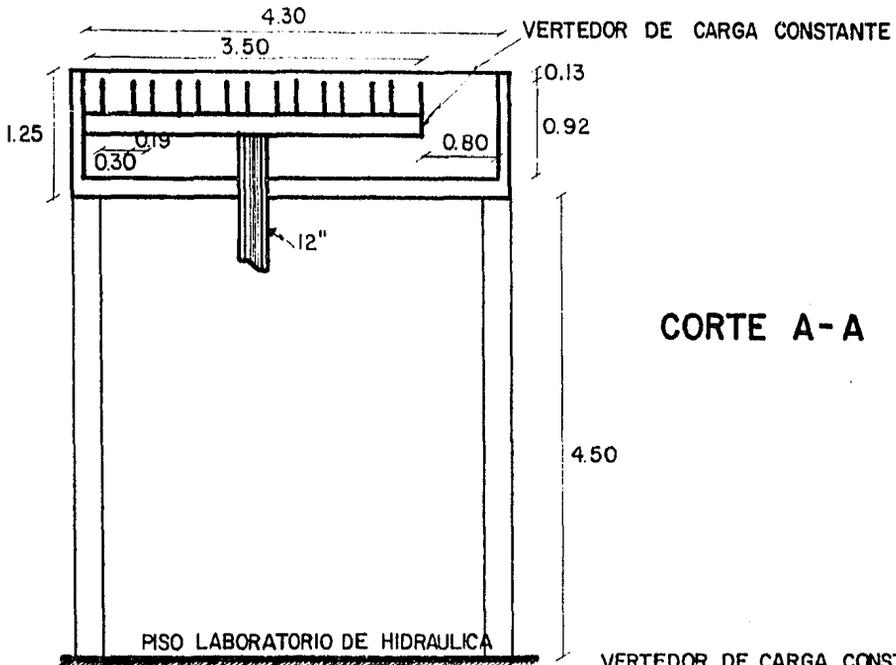
Se puede observar que no se descuenta el volúmen de tubos que atraviesan el tanque, pero tampoco se está considerando el volúmen de agua en el interior de los muros tranquilizadores, por lo cual se considera compensado.



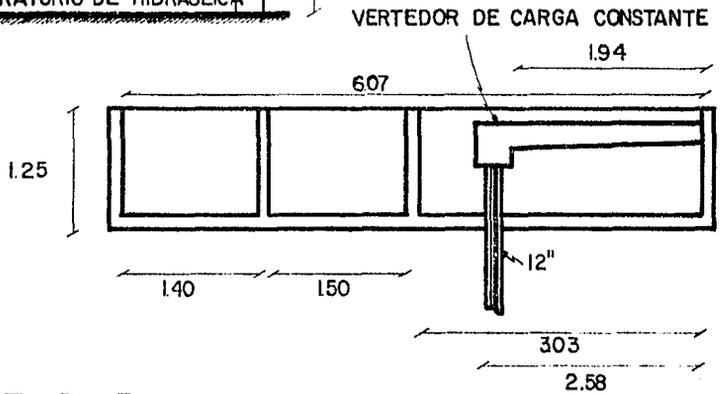
PLANTA

ESCALA 1:50

CROQUIS II.A.1 TANQUE ELEVADO



**CORTE A-A**



**CORTE B-B**

**ESCALA 1:50**

**CROQUIS II.A.2 TANQUE ELEVADO**

II.3.3 Distribución a modelos a partir del tanque elevado de carga constante.

La distribución de agua a modelos se efectúa por medio de seis tuberías de distintos diámetros que parten del tanque de carga constante justo bajo el vertedor del mismo nombre, y que son, de acuerdo al plano de la red de distribución No. II.3, como sigue:

Tubería No.1: Es de 10" de diámetro y alimenta a los modelos:

- Vertedor de abanico
- Obra de toma
- Vertedor de cresta recta
- Pozos de oscilación

Tubería No.2: Es de 12" y se reduce a 10" y alimenta a los modelos:

- Drenaje profundo
- Vertedor triangular
- Canal de fondo móvil

Tubería No.3: Es de 10" y posteriormente se reduce a 8". Alimenta a los modelos:

- Canal Rehbock
- Mesa de ensayo de ríos
- cuenta con tres tomas libres.

Tubería No.4: Es de 4" y alimenta exclusivamente al modelo de vertedor de canal lateral y cuenta con 3 tomas libres.

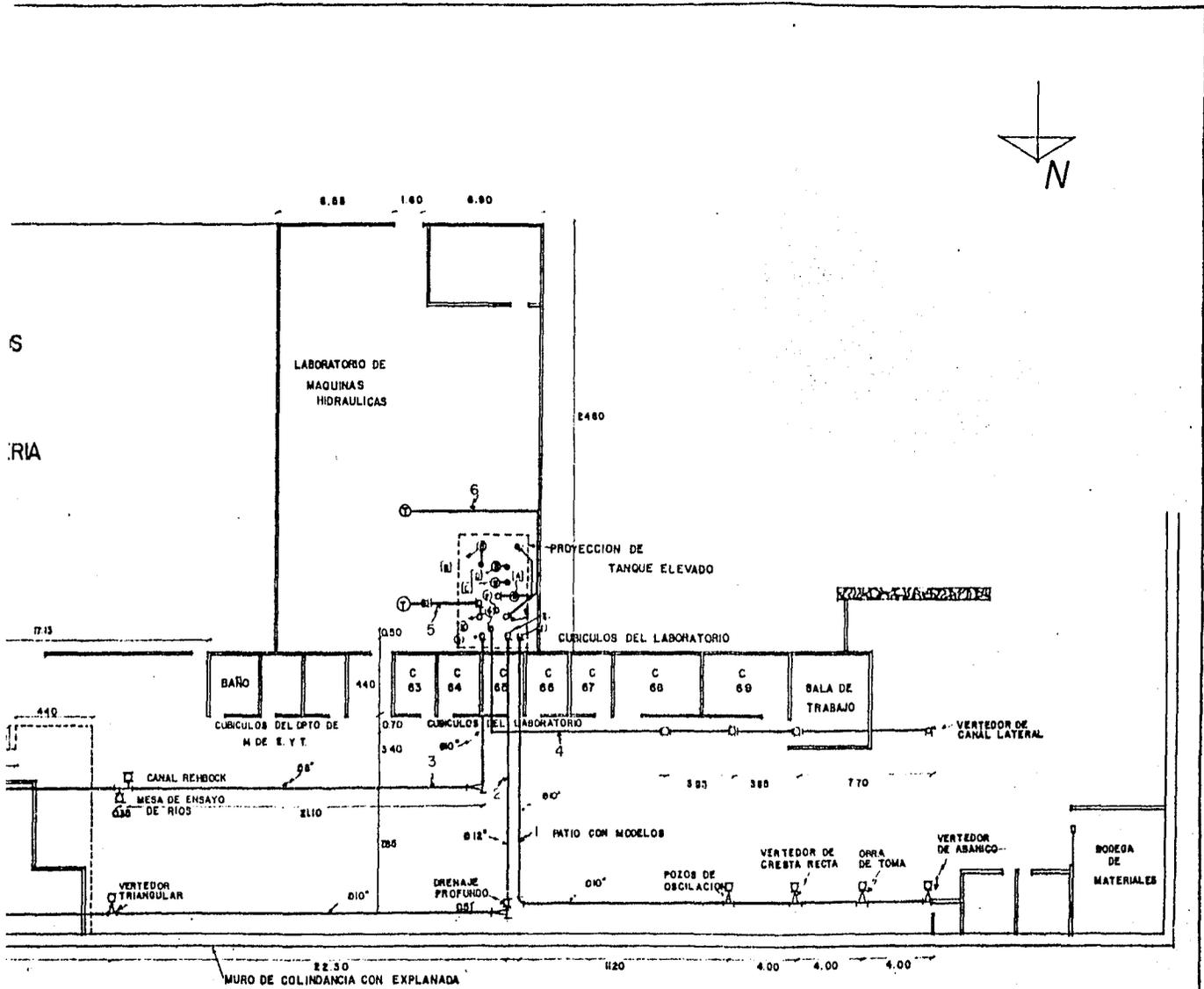
Tubería No.5: Es de 10" y alimenta a la turbina Kaplan.

Tubería No.6: Es de 10" y alimenta a la turbina Francis.

Tubería No.7: Es de 12", es el retorno de agua del vertedor de carga constante al cárcamo de bombeo.

Los modelos están descritos con detalle en el inciso II.5. En cuanto a los accesorios de las tuberías como son: codos, tees, reducciones, válvulas, etc., se encuentran claramente indicados en el plano II.3.





<b>U N A M</b>	
<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
<b>LAB. DE HIDRAULICA   DICTyG</b>	
<b>PLANO N° II 3</b>	
<b>RED DE DISTRIBUCION</b>	
<small>PROFESIONAL</small> <b>ENRIQUE MANUEL GRIÑAN GUTIERREZ</b>	
<small>FECHA</small> M 01 A. NAVA M.	<small>FECHA</small> ENERO 1986
<small>FECHA</small> M 01 A. NAVA M.	<small>FECHA</small> 1126 A. CORRAL R. GRIÑAN

## II.4 Sistema de bombeo.

### II.4.1 Descripción.

El sistema de bombeo es el encargado de pasar el agua del cárcamo al t.e. para de esta forma obtener la "CARGA CONSTANTE" necesaria para proporcionar un gasto constante a los modelos.

El laboratorio cuenta con cuatro bombas que proporcionan dicha carga al t.e. y de acuerdo al plano II. 3 son:

Bomba A: Tipo: Centrífuga horizontal.  
Motor: Westinghouse de 25 H.P.  
Gasto de diseño: 0.120 m<sup>3</sup>/seg.  
Diámetro de succión: 14".  
Diámetro de descarga: 8".  
Carga dinámica: 8 m.  
Nota: Esta bomba no funciona actualmente, por lo que no se pudo comprobar su gasto.

Bomba B: Tipo: Centrífuga vertical.  
Motor: IEM de 5 H.P. con impulsor Johnston.  
Gasto de diseño: .030 m<sup>3</sup>/seg.  
Diámetro de succión: 6".  
Diámetro de descarga: 4".  
Carga dinámica: 8 m.  
Nota: ésta bomba tampoco funciona, por lo que no se pudo comprobar su gasto. Esta bomba tiene doble función, por un lado sirve para vaciar los cárcamos y por el otro alimenta al t.e.

**Bombas C y D:**

Tipo: Centrifuga vertical.

Motor: IEM de 30 H.P. con impulsor Jacuzzi.

Gasto de diseño: 0.150 m<sup>3</sup>/seg.

Diámetro de succión: 12".

Diámetro de descarga: 10".

Carga dinámica: 8 m.

**II.4.2 Obtención del gasto real.**

Las dos últimas bombas pudieron ser comprobadas en cuanto a su gasto y el procedimiento fué el siguiente:

1) Se enciende la bomba que se desea probar y se espera a que se llene el t.e. y además a que empiece el retorno de agua al cárcamo a través del vertedor de carga constante.

2) Se abren válvulas de modelos, una por una, esperando, después de cada apertura, a que se estabilice el sistema.

3) Es necesario abrir tantos modelos como sean necesarios para agotar el retorno a través del vertedor de carga constante y sin permitir que el nivel de agua

en el tanque quede por abajo de 5 cm. a partir de la cresta del vertedor. Esto es para que no existan variaciones significativas en la carga.

4) Una vez que se han cumplido las condiciones anteriores se toman las lecturas de los modelos seleccionados, se obtiene el gasto por modelo y la suma de los gastos de los modelos utilizados será el gasto de la bomba.

5) Como puede haber errores tanto en la lectura como en el vertedor del modelo, se repite varias veces el procedimiento cambiando de modelos. En este caso se hizo tres veces, y se toma el promedio de las pruebas efectuadas.

6) Posteriormente se efectúa la misma prueba para otra bomba y después se puede hacer en combinación.

Los resultados de las pruebas se presentan en las tablas II.1. En la primera columna está el nombre del modelo de que se trata. En la segunda columna se presenta la carga en centímetros en el vertedor del modelo. En la tercera columna está el coeficiente " $\mu$ " que depende del ángulo del vertedor y que se obtuvo de la figura 7.9 de la Ref.1.

La cuarta columna presenta el coeficiente "K" obtenido de la figura 7.10 de la mencionada referencia. La quinta columna contiene el coeficiente de descarga "C" obtenido a partir de la fórmula de la Universidad Católica de Chile y que es:

$$C = (8/15) * ((2g)^{(1/2)}) * \tan(\text{ángulo vert.}/2) * \mu * K$$

En donde:

C = coeficiente de descarga en  $(\text{dm}^{(1/2)})/\text{s}$   
 g = aceleración de la gravedad = 98.1 dm/s<sup>2</sup>  
 ángulo vert. = ángulo del vertedor del modelo en cuestión.

Finalmente la sexta columna nos presenta el gasto en l/s y se obtuvo a partir de la fórmula:

$$Q = C * (h^{(5/2)})$$

En donde:

Q = gasto en l/s ó dm<sup>3</sup>/s.  
 C = coeficiente de descarga en  $\text{dm}^{(1/2)}/\text{s}$ .  
 h = carga sobre el vertedor del modelo en dm.

Como se puede observar en las tablas, el gasto en la bomba "C" es menor al de la "D". Esto aparentemente no

se justifica pues las dos bombas son iguales pero debido al uso podría haber tenido una menor eficiencia lo cual se comprobó al querer efectuar la tercera prueba, con ambas bombas. A la "C" le reventó un cople en el eje del impulsor, por lo que no se utilizó para algunas de las pruebas siguientes. En algunas otras si se utilizó pues se hicieron previamente a las pruebas de las tablas II.1.

	Carga (cm)	"mu"	K	C dm <sup>3</sup> /s	Q l/s
Vert. canal lateral	23.37	0.603	1.00	0.71335	18.83
Vert. cresta recta	26.72	0.603	1.00	0.71724	26.47
Obra de toma	25.90	0.603	1.00	0.72083	24.61
	GASTO TOTAL=				69.91
Canal Rehbock	27.99	0.593	1.02	1.57313	65.20
Vertedor triangular	21.62	0.603	1.00	0.71522	15.54
	GASTO TOTAL=				80.75
Vert. cresta recta	27.95	0.603	1.00	0.71724	29.62
Canal Rehbock	23.71	0.593	1.02	1.57313	43.06
	GASTO TOTAL=				72.68
	PROMEDIO BOMBA "C"=				74.45

TABLA II.1.A GASTO AFORADO EN BOMBA "C".

	Carga (cm)	"mu"	K	C dm <sup>1.5</sup> /s	Q l/s
Vert. canal lateral	23.44	0.603	1.00	0.71335	18.98
Vert. cresta recta	28.80	0.603	1.00	0.71724	31.93
Obra de toma	29.20	0.603	1.00	0.72083	33.21
Canal Rehbock	15.62	0.593	1.02	1.57313	15.17
	GASTO TOTAL=				99.28
Canal Rehbock	27.89	0.593	1.02	1.57313	64.62
Vertedor triangular	32.98	0.603	1.00	0.71522	44.68
	GASTO TOTAL=				109.30
Vert. canal lateral	23.42	0.603	1.00	0.71335	18.94
Vert. cresta recta	28.08	0.603	1.00	0.71724	29.97
Canal Rehbock	16.02	0.593	1.02	1.57313	16.16
Vertedor triangular	31.44	0.603	1.00	0.71522	39.64
	GASTO TOTAL=				104.70
	PROMEDIO BOMBA "D"=				104.43

TABLA II.1.B GASTO AFORADO EN BOMBA "D".

	Carga (cm)	"mu"	K	C dm <sup>1.5</sup> /s	Q l/s
Vert. canal lateral	23.28	0.603	1.00	0.71335	18.65
Vert. cresta recta	29.20	0.603	1.00	0.71724	33.05
Canal Rehbock	28.93	0.593	1.02	1.57313	70.82
Vertedor triangular	32.15	0.603	1.00	0.71522	41.92
	GASTO TOTAL=				164.43
Vert. cresta recta	28.43	0.603	1.00	0.71724	30.91
Canal Rehbock	28.69	0.593	1.02	1.57313	69.36
Vertedor triangular	30.69	0.603	1.00	0.71522	37.32
Obra de toma	29.00	0.603	1.00	0.72083	32.65
	GASTO TOTAL=				170.23
	PROMEDIO BOMBAS=				167.33

TABLA II.1.C GASTO AFORADO EN AMBAS BOMBAS.

## II.5 Modelos y estructuras de aforo.

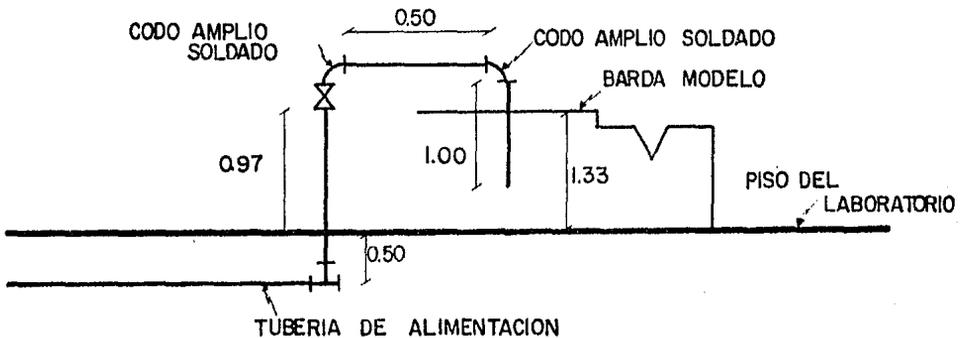
En este inciso se describe detalladamente cada uno de los modelos alimentados por el t.e. Esta descripción será: a partir de la tee del tubo principal que alimenta al modelo y la estructura aforadora como es el tipo de vertedor utilizado. Además se dará una descripción muy ligera sobre el objetivo de cada modelo.

Los modelos a describir tal y como están en el plano II.3 son:

- 1) Vertedor de canal lateral.
- 2) Vertedor de Abanico.
- 3) Obra de toma.
- 4) Vertedor de cresta recta.
- 5) Pozos de oscilación.
- 6) Modelo de drenaje profundo.
- 7) Vertedor triangular.
- 8) Canal de fondo móvil.
- 9) Canal Rehbock.
- 10) Mesa de ensayo de ríos.
- 11) Turbina Francis.
- 12) Turbina Kaplan.

### VERTEDOR DE CANAL LATERAL

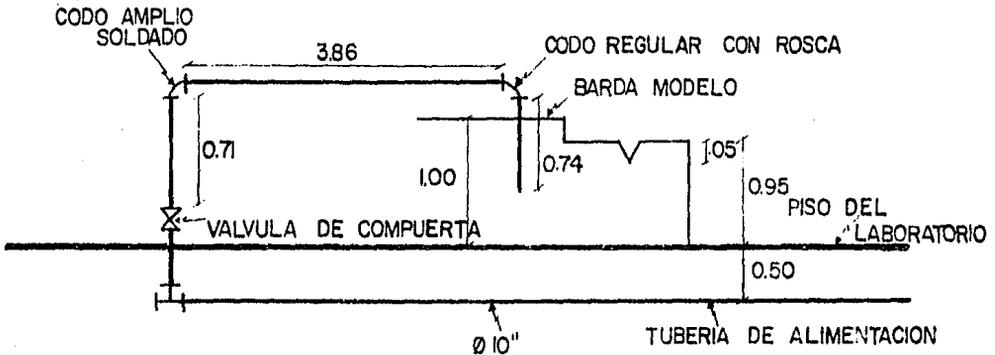
Tubería de alimentación: No. 4 (de plano II.3).  
 Tipo de Válvula: Compuerta.  
 Tipo de vertedor: Triangular.  
 Angulo del vertedor: 53.20 grados.  
 Ancho canal de llegada: 0.805 m.  
 Diámetro de tubería en el modelo: 4".  
 Accesorios: Limnímetros en el vertedor triangular, en el de canal lateral y en la rápida.  
 Descripción del modelo: Este modelo representa la obra de excedencias de una presa y se utiliza para observar el funcionamiento de un vertedor de canal lateral así como la rápida y el salto de ski. Es el único modelo alimentado por la línea No.4 del t.e.c.c.



CRUCIOS II.B VERTEDOR DE CANAL LATERAL.

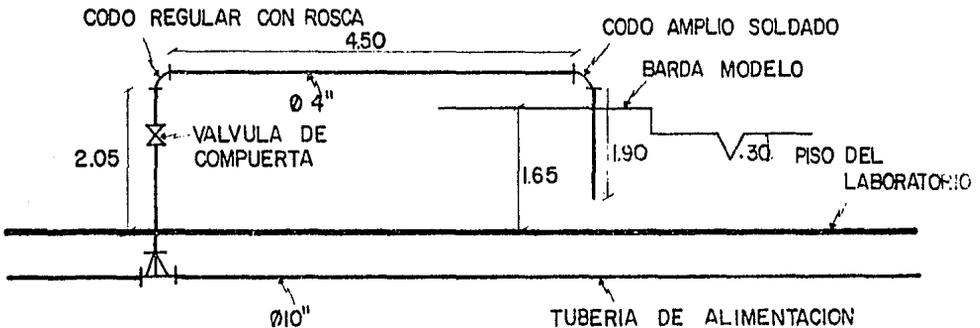
## VERTEDOR DE ABANICO

Tubería de alimentación: No. 1 (de plano II.3).  
 Tipo de Válvula: Compuerta.  
 Tipo de vertedor: Triangular.  
 Angulo del vertedor: 58.71 grados.  
 Ancho canal de llegada: 1.16 m.  
 Diámetro de tubería en el modelo: 4".  
 Accesorios: Limnímetros en el vertedor triangular y en el de abanico.  
 Descripción del modelo: Este modelo simula un vertedor de abanico con la rápida a continuación del vertedor y desembocadura a río al final. Es el cuarto y último en la alimentación de la tubería 1.



## OBRA DE TOMA

Tubería de alimentación: No. 1 (de plano II.3).  
 Tipo de Válvula: Compuerta.  
 Tipo de vertedor: Triangular.  
 Angulo del vertedor: 53.68 grados.  
 Ancho canal de llegada: 1.30 m.  
 Diámetro de tubería en el modelo: 4".  
 Accesorios: Limnímetros en el vertedor triangular y paredes de acrílico en el tanque de la obra de toma.  
 Descripción del modelo: El modelo representa una obra de toma sumergida con compuerta deslizante, se continúa con un tubo de lucita que desemboca a un río. Se utiliza para observar el comportamiento del flujo dentro del tubo a distintas aberturas de la compuerta y cargas. También para prácticas de tránsito de avenidas. Es el tercer modelo en la alimentación del tubo 1.



CROQUIS II.D OBRA DE TOMA

### VERTEDOR DE CRESTA RECTA

Tubería de alimentación: No. 1 (de plano II.3).

Tipo de Válvula: Compuerta.

Tipo de vertedor: Triangular.

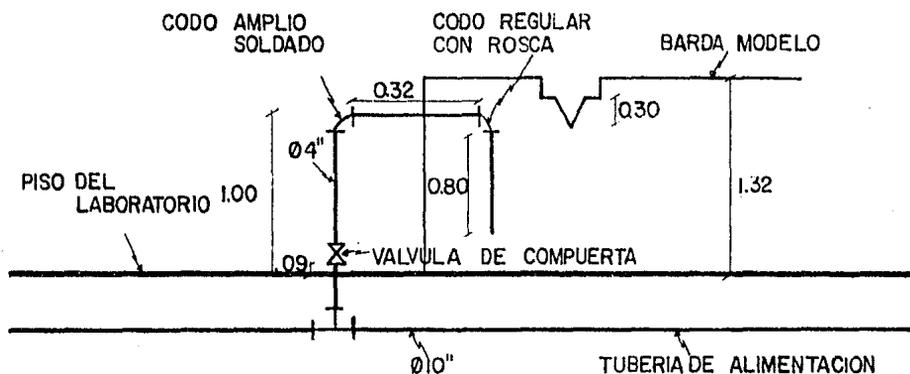
Angulo del vertedor: 53.45 grados.

Ancho canal de llegada: 1.07 m.

Diámetro de tubería en el modelo: 4".

Accesorios: Limnímetros en el vertedor triangular, en la cresta del vertedor y en el canal.

Descripción del modelo: El modelo simula un vertedor de cresta recta con un canal rectangular que descarga en un río. Es el segundo modelo en la tubería 1.



CROQUIS II.E VERTEDOR DE CRESTA RECTA

## POZOS DE OSCILACION

Tubería de alimentación: No. 1 (de plano II.3).

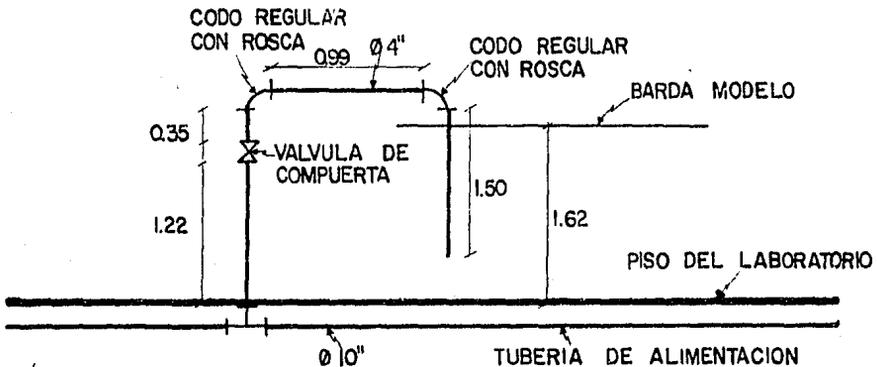
Tipo de Válvula: Compuerta.

Diámetro de tubería en el modelo: 4".

Medición del gasto: El gasto se obtiene por medio de una curva gasto vs. elevación en el tanque, se cuentan con copias de esta curva en el laboratorio.

Accesorios: Cuenta con un vertedor de carga constante móvil para contar con gran variedad de cargas.

Descripción del modelo: El modelo consta de un tanque en el interior del cual se encuentra el vertedor de carga constante, de este tanque salen tres tubos cada uno de los cuales termina en una válvula de globo para poder cortar el flujo de golpe. Poco antes de la válvula tienen un tubo de lucita a modo de pozo de oscilación. Se utiliza para observar la variación del nivel en el pozo de oscilación debido a un cierre o apertura de la válvula.



CROQUIS II.F POZOS DE OSCILACION

## DRENAJE PROFUNDO

Tubería de alimentación: No. 2 (de plano II.3).

Tipo de Válvula: Compuerta.

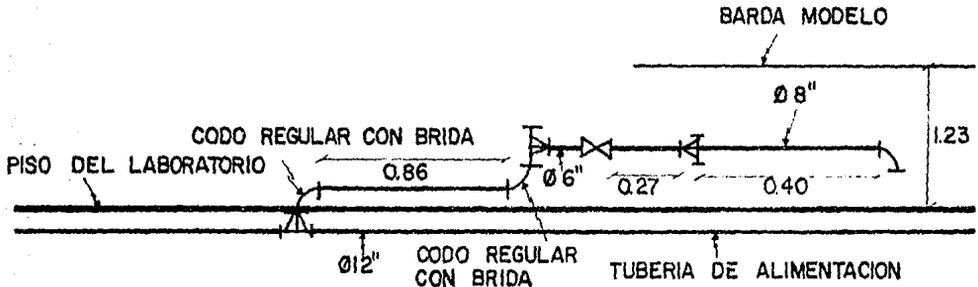
Tipo de vertedor: Trapecial.

Ancho canal de llegada: 1.00 m

Diámetro de tubería en el modelo: 6" y 8".

Accesorios: Limnímetros en el vertedor trapecial.

Descripción del modelo: El modelo representa una estructura de conexión al interceptor centro-poniente del drenaje profundo de la Ciudad de México con todos sus componentes en lucita. El modelo consta de dos partes, una superior que alimenta lo que sería el colector y una inferior que alimenta lo que sería el interceptor del drenaje profundo. Es el primer modelo en ser alimentado por la tubería No.2.



CRDQUIS II.6 DRENAJE PROFUNDO

### VERTEDOR TRIANGULAR

Tubería de alimentación: No. 2 (de plano II.3).

Tipo de Válvula: Compuerta.

Tipo de vertedor: Triangular.

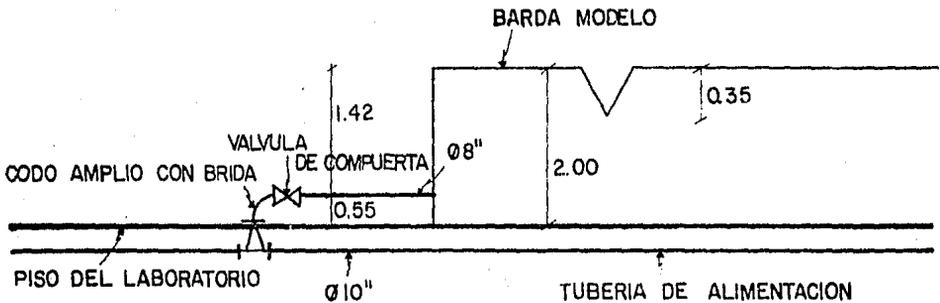
Angulo del vertedor: 53.32 grados.

Ancho canal de llegada: 1.06 m.

Diámetro de tubería en el modelo: 8".

Accesorios: Linnímetro en el vertedor triangular.

Descripción del modelo: Este modelo se utiliza para enseñar a los alumnos a aforar un gasto mediante un vertedor triangular y un tanque de aforo. Es el segundo modelo en ser alimentado por el tubo No.2.



CROQUIS II.H VERTEDOR TRIANGULAR

## CANAL DE FONDO MOVIL

Tubería de alimentación: No. 2 (de plano II.3).

Tipo de Válvula: Compuerta.

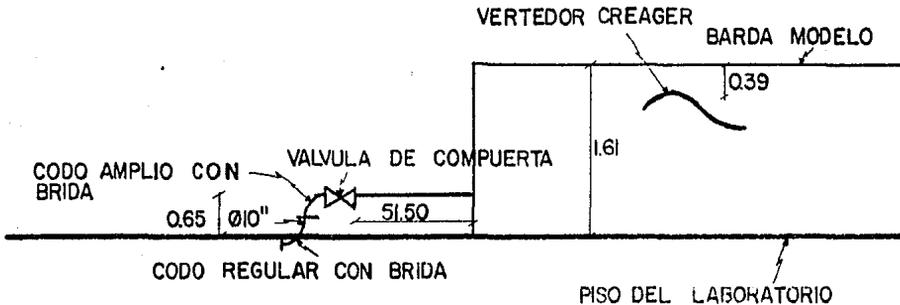
Tipo de vertedor: Creager.

Ancho del canal de llegada: 0.40 m.

Diámetro de tubería en el modelo: 10".

Accesorios: Piezómetros y limnómetro en el vertedor Creager, limnómetro en el vertedor de salida.

Descripción del modelo: Este modelo se ha usado para pruebas de arrastre y socavación en cauces. Actualmente se estudia el comportamiento del flujo en un cimacio vertedor tipo Creager y el despegue en una cubeta deflectora.



CROQUIS II.1 CANAL DE FONDO MOVIL.

## CANAL REHBOCK

Tubería de alimentación: No. 3 (de plano II.3).

Tipo de Válvula: Compuerta.

Tipo de vertedor: Triangular.

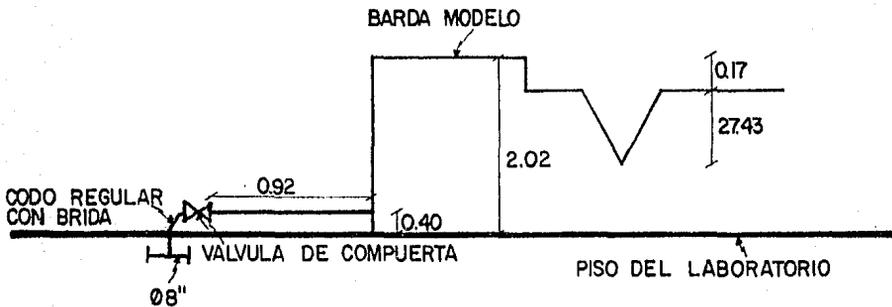
Angulo del vertedor: 95.50 grados.

Ancho canal de llegada: 1.05 m.

Diámetro de tubería en el modelo: 8".

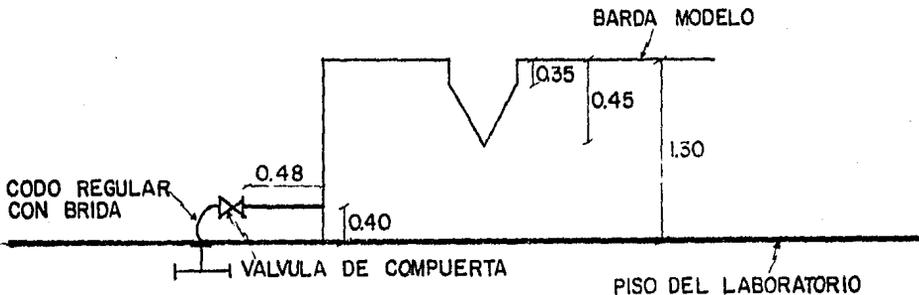
Accesorios: Limnímetros en el vertedor triangular y en el canal, dos compuertas, una aguas arriba y otra aguas abajo, paredes de vidrio de gran espesor.

Descripción del modelo: El modelo muestra un canal de sección rectangular y las paredes de cristal sirven para poder observar el comportamiento de un flujo de agua en un canal bajo diferentes condiciones. Es el primer modelo en ser alimentado por la tubería No.3.



## MESA DE ENSAYO DE RIOS

Tubería de alimentación: No. 3 (de plano II.3).  
 Tipo de Válvula: Compuerta.  
 Tipo de vertedor: Triangular.  
 Angulo del vertedor: 89.71 grados.  
 Ancho canal de llegada: 2.69 m.  
 Diámetro de tubería en el modelo: 8".  
 Accesorios: Farrilla corrediza para observación.  
 Descripción del modelo: Como su nombre lo indica, es una mesa larga, tiene una capa de arena y se utiliza para observar los fenómenos que ocurren cuando pasa una corriente de agua por un terreno determinado. Es el segundo y último modelo en ser alimentado por la tubería tres, ya que después se encuentran tres tomas libres.



## TURBINA FRANCIS

Tubería de alimentación: No. 5 (de plano II.3).

Tipo de Válvula: Compuerta.

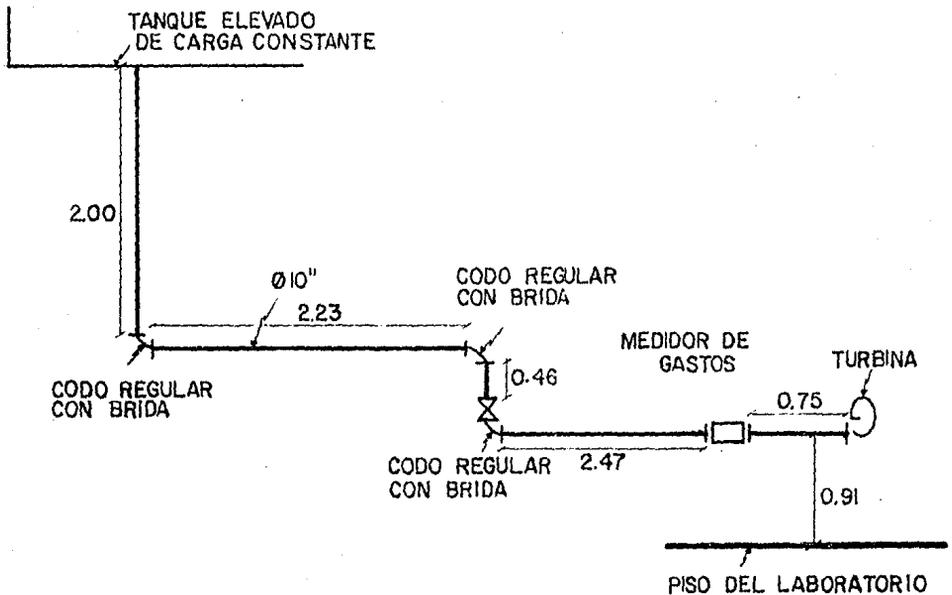
Tipo de vertedor: Rectangular.

Ancho canal de llegada: 0.60 m.

Diámetro de tubería en el modelo: 10".

Accesorios: Medidor de gasto y piezómetros de mercurio en la tubería antes y después de la turbina.

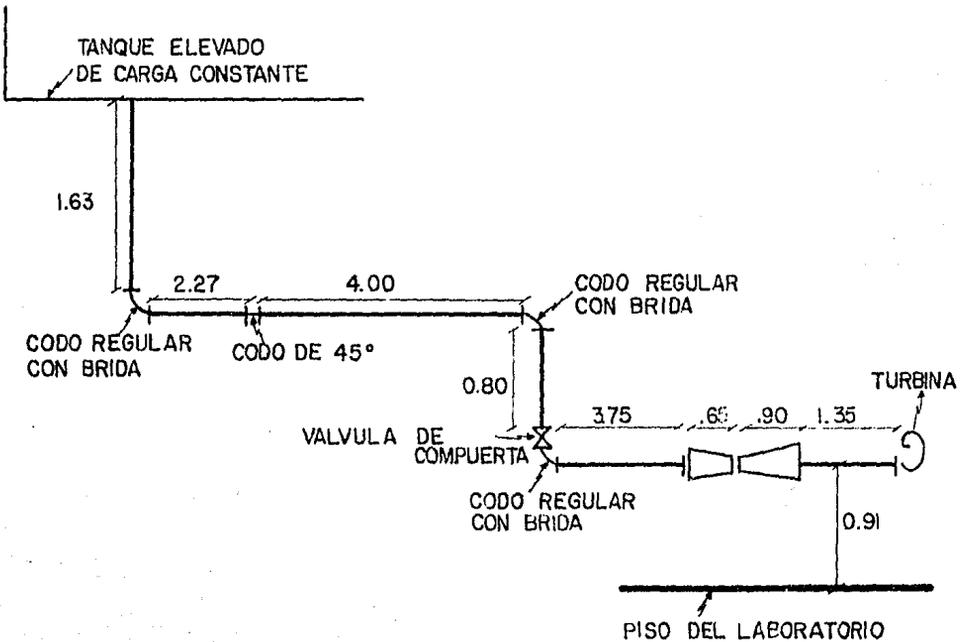
Descripción del modelo: Se trata de una turbina Francis a escala. Además de poderse observar el funcionamiento de una máquina de este tipo, se aprovecha para mover un pequeño generador eléctrico y así se ve directamente una aplicación. Es el único modelo alimentado por la tubería 5.



CROQUIS II.L TURBINA FRANCIS.

## TURBINA KAPLAN

Tubería de alimentación: No. 6 (de plano II.3).  
 Tipo de Válvula: Compuerta.  
 Tipo de vertedor: Rectangular.  
 Ancho canal de llegada: 0.60 m.  
 Diámetro de tubería en el modelo: 10".  
 Accesorios: Medidor de gasto tipo venturi y  
 piezómetros de mercurio antes y después de la  
 turbina.  
 Descripción del modelo: Se trata de una turbina  
 Kaplan a escala. Se utiliza para estudiar el  
 funcionamiento de éste tipo de turbina bajo  
 diferentes condiciones como son apertura de  
 chorro y resistencia por redstato. Es el único  
 modelo alimentado por la tubería 6.



CROQUIS II.M TURBINA KAPLAN.

### III. OPERACION HIDRAULICA.

#### III.1 Aforos.

La prueba que se describe a continuación consiste en obtener el gasto máximo aforable por modelo, probando con bomba "C", bomba "D" y ambas.

#### Procedimiento:

1) Se enciende la bomba con la que se va a trabajar y se espera a que la carga en el vertedor de carga constante se estabilice.

2) Se abre la válvula del modelo a aforar permitiendo que salga el máximo gasto aforable, en otras palabras, que no desborde por encima del vertedor o de las paredes del modelo.

3) Una vez que el sistema se ha estabilizado, se toman la lectura del nivel en el t.e. y de la carga en el modelo.

4) En caso de que un modelo agote el gasto de retorno por el vertedor de carga constante del t.e., indica que el gasto máximo aforable del modelo es mayor que el gasto de

la bomba, y que por lo tanto, necesita ser operado con dos bombas.

En las tablas III.1 se presentan los resultados de estas pruebas. El formato de estas tablas es el mismo que las tablas II.1, explicadas en el inciso II.4.2, pero con la diferencia que ahora se tiene una séptima columna que presenta la carga en cm. sobre la cresta del vertedor de carga constante y una octava que proporciona el gasto de retorno por dicho vertedor obtenido de la diferencia del gasto por bomba de las tablas II.1 y el gasto del modelo probado en ese momento. El gasto así obtenido se llama gasto aforado ó Q aforado.

En el caso del vertedor rectangular de las turbinas el gasto se obtuvo de la fórmula 7.6 de la ref.1:

$$Q = C * b * (h^{3/2})$$

En donde:

Q = gasto en dm<sup>3</sup>/s.  
 C = coeficiente de gasto en (dm<sup>0.5</sup>)/s.  
 b = ancho del canal de llegada en dm.  
 h = carga sobre el vertedor en dm.

El valor de "C" se obtuvo de la fórmula 7.7 de la

ref.1:

$$C = (2/3) * ((2g)^{.5}) * "mu"$$

En donde:

g = aceleración de la gravedad = 98.1 dm/s<sup>2</sup>  
mu = coeficiente de gasto obtenido de la  
fórmula de Hegly de la tabla 7.1 de la ref.1:

$$"mu" = (0.6075 + (0.0041/h)) * (1 + (0.5 * (h/(h+w))^2))$$

En donde:

w = profundidad de la cresta del vertedor al  
fondo del canal = 0.50 m.

MODELOS:	Carga (cm)	"mu"	K	C (dm <sup>0.5</sup> )/s	Q (l/s)	Carga (cm)	Gasto Retorno (l/s)
Sin modelos						2.10	74.45
Vert. cresta recta	29.48	0.603	1.00	0.71724	33.84	1.73	40.61
Vert. canal lateral	22.78	0.603	1.00	0.71335	17.67	1.94	56.78
Canal Rehbock	29.34	0.593	1.02	1.57313	73.35	1.39	1.10
Vertedor triangular	31.64	0.603	1.00	0.71522	40.27	1.71	34.18
Pozos de oscilacion					13.50	1.63	60.95

TAELA III.1.A GASTOS MAXIMOS AFORABLES EN MODELOS CON BOMBA "C".

MODELOS:	Carga (cm)	"mu"	K	C (dm <sup>0.5</sup> )/s	Q (l/s)	Carga (cm)	Gasto Retorno (l/s)
Sin modelos						2.30	104.43
Vert. cresta recta	29.42	0.603	1.00	0.71724	33.67	1.95	70.76
Vert. canal lateral	23.21	0.603	1.00	0.71335	18.51	2.04	85.92
Canal Rehbock	29.89	0.593	1.02	1.57313	76.84	1.54	27.59
Vertedor triangular	31.76	0.603	1.00	0.71522	40.66	1.89	63.77
Canal fondo movil	22.88			2.10000	91.93	1.08	12.80
Pozos de oscilacion					13.50	1.95	90.93
Turbina Francis	17.90	0.655		1.93272	87.82	1.54	16.61
Turbina Kaplan	16.54	0.654		1.93058	77.92	1.72	26.51

TABLA III.1.B GASTOS MAXIMOS AFORABLES EN MODELOS CON BOMBA "D".

MODELOS:	Carga (cm)	"mu"	K	C (dm <sup>0.5</sup> )/s	Q (l/s)	Carga (cm)	Gasto Retorno (l/s)
Sin modelos						2.85	167.33
Vert. cresta recta	29.30	0.603	1.00	0.71724	33.33	2.61	134.00
Vert. canal lateral	23.16	0.603	1.00	0.71724	18.51	2.68	148.82
Canal Rehbock	28.81	0.593	1.02	0.71946	32.05	2.29	135.29
Vertedor triangular	31.12	0.603	1.00	0.71724	38.75	2.53	128.58
Canal fondo movil	22.95			2.10000	92.35	2.07	74.98
Pozos de oscilacion					13.50	2.55	153.83

TABLA III.1.C GASTOS MAXIMOS AFORABLES EN MODELOS CON BOMBAS "C" y "D".

### III.2 Vertedor de carga constante.

Desde este momento el vertedor se conocerá como v.c.c. para mayor sencillez. El v.c.c. se encuentra ubicado como se mencionó en el inciso II.3.1, en el interior del t.e. Su posición y forma en el t.e. se pueden apreciar claramente en los croquis II.A.

La función de este v.c.c. es conservar un nivel de carga con un mínimo de variación a lo largo del tiempo para que no existan cambios notables en el gasto al operar un modelo y ésto lo logra por medio de la gran longitud de vertido con que cuenta y que es de 32.67 m.

#### III.2.1 Cálculo del gasto de retorno a través del V.C.C.

Con las mismas tablas III.1 se efectuará el cálculo del gasto de retorno en el v.c.c., pero ahora llamándolas III.2 y las diferencias son las siguientes:

1) Ahora se tiene una novena columna llamada "mu" y se obtiene por medio de la fórmula de Rehbock para vertedores rectangulares obtenida de la tabla 7.1 de la ref.1:

$$\mu = (0.6035 + 0.0813 * ((h + 0.0011) / w)) * ((1 + (0.0011 / h))^{1.5})$$

En donde:

$\mu$  = coeficiente de gasto.  
 $h$  = carga sobre el vertedor en m.  
 $w$  = profundidad de la cresta del vertedor al

fondo del tanque en m. = 0.92 m.

2) También se tiene una décima columna llamada "C" y se obtiene de la fórmula 7.7 de la ref.1:

$$C = (2/3) * ((2g)^{0.5}) * \mu$$

En donde:

$g$  = aceleración de la gravedad = 9.81 m/s<sup>2</sup>  
 $\mu$  = coeficiente de gasto.

3) La decimoprimer columna muestra el gasto en l/s y se obtuvo de la fórmula 7.6 de la ref.1:

$$Q = C * b * (h^{3/2}) * 1000$$

En donde:

$Q$  = gasto en dm<sup>3</sup>/s.  
 $C$  = coeficiente de gasto en (m<sup>0.5</sup>)/s.  
 $b$  = ancho del canal de llegada en m.  
 $h$  = carga sobre el vertedor en m.

Se puede apreciar que existe una diferencia entre los gastos obtenidos mediante el aforo en modelos y los obtenidos por medio del cálculo. La diferencia se debe a las siguientes razones:

El vertedor sufre un pequeño desnivel de aproximadamente 5 mm. Esto trae como consecuencia que la carga no sea la misma en toda la longitud de vertido.

El vertedor se deforma convexamente 2.3 mm en su parte central al llenarse el t.e. y esto afecta las lecturas.

A pesar de los gastos tan disparados, que no son ciertos debido a las razones antes expuestas, obtenidos por medio del cálculo, si éstos se grafican vs. las cargas sobre el vertedor se obtiene una típica curva de vertedor como se puede apreciar en la figura III.1.

En cuanto a la curva hecha mediante el gasto aforado, se aprecia que también da la idea de una curva de vertedor pero con algunos puntos fuera de lugar.

El criterio seguido para la elaboración de éstas gráficas fué ordenar todas las cargas sobre el v.c.c. de

menor a mayor con su gasto correspondiente. Se nota en las figuras una zona de 1 y 2 bombas. Esta zona se determinó en su límite inferior por el gasto menor para 2 bombas de tabla III.2.C que es de 188 y de 104 l/s. En cuanto al límite superior fué el gasto mayor para una sola bomba y se encuentra en la tabla III.2.B que corresponde a la bomba "D" y es de 218 y de 129 l/s.

	Carga (cm)	"mu"	K	C (dm <sup>0.5</sup> )/s	Q modelo (l/s)	Gasto en vertedor de carga constante.				
						Carga (cm)	Q Aforado (l/s)	"mu" Rehbock	C	Q Calcul. (l/s)
Sin modelos						2.10	74.45	0.654	1.9302	191.90
Vert. cresta recta	29.48	0.603	1.00	0.71724	33.84	1.73	40.61	0.664	1.9600	145.71
Vert. canal lateral	22.78	0.603	1.00	0.71335	17.67	1.94	56.78	0.658	1.9416	171.40
Canal Rehbock	29.34	0.593	1.02	1.57313	73.35	1.39	1.10	0.678	2.0022	107.19
Vertedor triangular	31.64	0.603	1.00	0.71522	40.27	1.71	34.18	0.664	1.9620	143.33
Pozos de oscilacion					13.50	1.63	60.95	0.667	1.9705	133.97

TABLA III.2.A CALCULO DEL Q DE RETORNO EN V.C.C. BOMBA "C".  
 COMPARACION DEL Q AFORADO CON EL CALCULADO

	Carga (cm)	"mu"	K	C (dm <sup>0.5</sup> )/s	Q modelo (l/s)	Gasto en vertedor de carga constante.				
						Carga (cm)	Q Aforado (l/s)	"mu" Rehbock	C	Q Calcul. (l/s)
Sin modelos						2.30	104.43	0.650	1.9182	218.59
Vert. cresta recta	29.42	0.603	1.00	0.71724	33.67	1.95	70.76	0.657	1.9409	172.66
Vert. canal lateral	23.21	0.603	1.00	0.71335	18.51	2.04	85.92	0.655	1.9343	184.12
Canal Rehbock	29.89	0.593	1.02	1.57313	76.84	1.54	27.59	0.671	1.9812	123.70
Vertedor triangular	31.76	0.603	1.00	0.71522	40.66	1.89	63.77	0.659	1.9456	165.16
Pozos de oscilacion					13.50	1.95	90.93	0.657	1.9409	172.66
Turbina Francis	17.90	0.655		1.93272	87.82	1.54	16.61	0.671	1.9812	123.70
Turbina Kaplan	16.54	0.654		1.93058	77.92	1.72	26.51	0.664	1.9610	144.52

TABLA III.2.B CALCULO DEL Q DE RETORNO EN V.C.C. BOMBA "D".  
COMPARACION DEL Q AFORADO CON EL CALCULADO

	Carga (cm)	"mu"	K	C (dm <sup>0.5</sup> )/s	Q modelo (l/s)	Gasto en vertedor de carga constante.				
						Gasto Carga (cm)	Q Aforado (l/s)	"mu" Rehbock	C	Q Calcul. (l/s)
Sin modelos						2.85	167.33	0.642	1.8945	297.78
Vert. cresta recta	29.30	0.603	1.00	0.71724	33.33	2.61	134.00	0.645	1.9035	262.22
Vert. canal lateral	23.16	0.603	1.00	0.71724	18.51	2.68	148.82	0.644	1.9007	272.43
Canal Rehbock	28.81	0.593	1.02	0.71946	32.05	2.29	135.28	0.650	1.9188	217.23
Vertedor triangular	31.12	0.603	1.00	0.71724	38.75	2.53	128.58	0.646	1.9069	250.71
Canal fondo movil	22.95			2.10000	92.35	2.07	74.98	0.654	1.9322	188.00
Pozos de oscilacion					13.50	2.55	153.83	0.645	1.9061	253.57

TABLA III.2.C CALCULO DEL Q DE RETORNO EN V.C.C. BOMBAS "C" y "D".  
COMPARACION DEL Q AFORADO CON EL CALCULADO

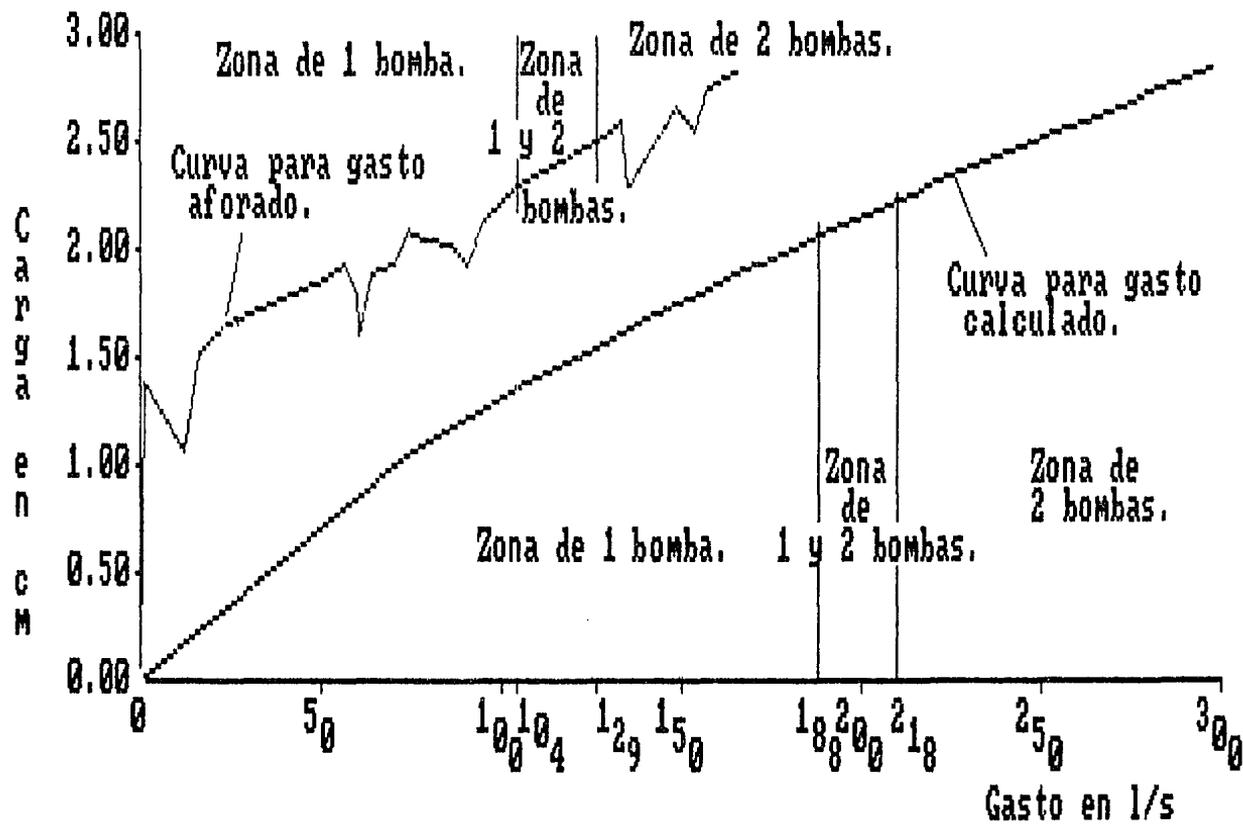


FIGURA III.1 GASTO VS. CARGA EN U.C.C.

### III.2.2 Obtención del coeficiente "C".

Se obtendrá el coeficiente "C" real forzando la fórmula del gasto y despejando dicha "C" como sigue:

$$C = Q / ( b * (h ^ (3/2)) * 1000)$$

En donde:

Q = gasto obtenido mediante aforo, en l/s.  
b = longitud de vertido = 32.67 m.  
h = carga sobre el vertedor, en m.

Los resultados se pueden ver en la novena columna que se titula "C" real de las tablas III.3. Los resultados reflejan el desnivel y la deformación que sufre el v.c.c.

	Carga	"mu"	K	C	Q modelo	Gasto en vertedor Carga	Q Aforado	de carga "mu" Rehbock	constante. C	C real
	(cm)			(dm <sup>0.5</sup> )/s	(l/s)	(cm)	(l/s)		(dm <sup>0.5</sup> )/s	(dm <sup>0.5</sup> )/s
Sin modelos						2.10	74.45	0.654	1.9302	0.7488
Vert. cresta recta	29.48	0.603	1.00	0.71724	33.84	1.73	40.61	0.664	1.9600	0.5462
Vert. canal lateral	22.78	0.603	1.00	0.71335	17.67	1.54	56.78	0.658	1.7416	0.6432
Canal Rehbock	29.34	0.593	1.02	1.57313	73.35	1.39	1.10	0.678	2.0022	0.0205
Vertedor triangular	31.64	0.603	1.00	0.71922	40.27	1.71	34.18	0.664	1.9620	0.4678
Pozos de oscilacion					13.50	1.63	60.95	0.667	1.9705	0.8965

TABLA III.3.A CALCULO DE "C" REAL A PARTIR DE Q AFORADO EN BOMBA "C".

	Carga	"mu"	K	C	Q modelo	Gasto en vertedor Carga	de carga Q	de carga "mu"	constante. C	C real
	(cm)			(dm <sup>0.5</sup> )/s	(l/s)	(cm)	Aforado (l/s)	Rehbock	(dm <sup>0.5</sup> )/s	(dm <sup>0.5</sup> )/s
Sin modelos						2.30	104.43	0.650	1.9182	0.9164
Vert. cresta recta	29.42	0.603	1.00	0.71724	33.67	1.95	70.76	0.657	1.9409	0.7954
Vert. canal lateral	23.21	0.603	1.00	0.71335	18.51	2.04	85.92	0.655	1.9343	0.9026
Canal Rehbock	29.89	0.593	1.02	1.57313	76.84	1.54	27.59	0.671	1.9812	0.4419
Vertedor triangular	31.76	0.603	1.00	0.71522	40.66	1.89	63.77	0.659	1.9456	0.7513
Fozos de oscilacion					13.50	1.95	90.93	0.657	1.9409	1.0221
Turbina Francis	17.90	0.655		1.93272	87.82	1.54	16.61	0.671	1.9812	0.2660
Turbina Kaplan	16.54	0.654		1.93058	77.92	1.72	26.51	0.664	1.9610	0.3597

TABLA III.3.B CALCULO DE "C" REAL A PARTIR DE Q AFORADO EN BOMBA "D".

	Carga (cm)	"mu"	K	C (dm <sup>0.5</sup> )/s	D modelo (1/s)	Gasto en vertedor de carga constante.		C (dm <sup>0.5</sup> )/s	C real (dm <sup>0.5</sup> )/s	
						Carga (cm)	Aforado Q (1/s)			"mu" Rehbock
Sin modelos						2.85	167.33	0.642	1.8945	1.0645
Vert. cresta recta	29.30	0.603	1.00	0.71724	33.33	2.61	134.00	0.645	1.9035	0.9727
Vert. canal lateral	23.16	0.603	1.00	0.71724	18.51	2.68	148.82	0.644	1.9007	1.0382
Canal Rehbock	28.81	0.593	1.02	0.71946	32.05	2.29	135.28	0.650	1.9188	1.1949
Vertedor triangular	31.12	0.603	1.00	0.71724	38.75	2.53	128.58	0.646	1.9069	0.9780
Pozos de oscilacion					13.50	2.55	153.83	0.645	1.9061	1.1563

TABLA III.3.C CALCULO DE "C" REAL A PARTIR DE Q AFORADO  
AMBAS BOMBAS.

### III.3 Influencia entre tuberías, cárcamos y modelos.

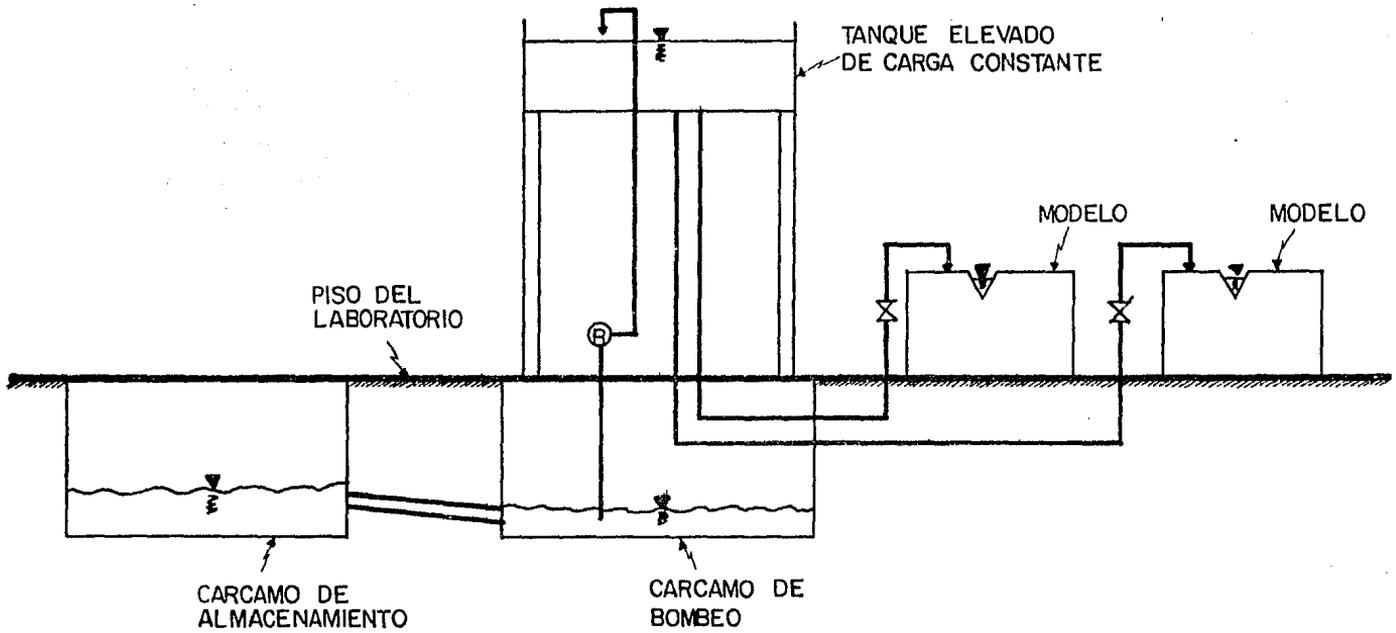
Esta prueba simula el funcionamiento del laboratorio en un momento dado. En ella intervienen el cárcamo de almacenamiento y el de bombeo, (ver plano II.2), el tanque elevado y los cuatro modelos siguientes:

Vertedor de cresta recta.  
Vertedor de canal lateral.  
Vertedor triangular.  
Canal Rehbock.

Para la ubicación de los mismos referirse al plano II.3. Se eligieron estos cuatro modelos porque la toma de cada uno está ubicada en una tubería distinta y porque se puede dar el caso de que se utilicen los cuatro simultáneamente en la realidad.

El formato para presentación de resultados será el mismo que en las tablas II.1 pero ahora llamándose III.4 e indicando la prueba de que se trata en cada caso. Existe además una séptima columna que indica la carga en el v.c.c. y una octava que indica el gasto de retorno.

Los elementos que intervienen en esta prueba se pueden ver en el croquis III.A.



**CROQUIS III. A ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA EN CONJUNTO**

Procedimiento y resultados:

A.- Con el t.e. y los modelos totalmente vacíos, con la bomba apagada, se tomaron los niveles de los cárcamos referidos al piso del laboratorio de máquinas hidráulicas. Estos niveles fueron iguales.

B.- Se enciende la bomba "D", y como al t.e. le toma 144 segundos llenarse, con ésta bomba se hizo una lectura a los 72 s. Aquí se puede observar que el nivel del cárcamo de bombeo se encuentra 2 cm por abajo del nivel del cárcamo de almacenamiento.

C.- Justo en el momento en que empieza el retorno al cárcamo se hizo esta lectura en que se puede apreciar que la diferencia de niveles entre cárcamos se ha reducido a 1 cm y se puede atribuir a que el nivel en ambos se está estabilizando ya que el cárcamo de bombeo empieza a tener la contribución del vertido.

D.- Se apaga la bomba, con el t.e. lleno sin retorno al cárcamo, y con el sistema aparentemente estático se toman las lecturas en las que se puede apreciar que existe una diferencia de 1.5 cm entre cárcamos que es atribuible a que el flujo del de almacenamiento hacia el de bombeo continúa por gravedad con tendencia a recuperar la

condición inicial de estabilidad.

E.- Nuevamente se enciende la bomba y se permite el retorno al cárcamo, se toma la lectura y se observa que hay una diferencia de 4.7 cm siendo el más bajo el de almacenamiento.

F.- Se continúa con el proceso ahora abriendo la válvula del modelo de vertedor de cresta recta, la diferencia de niveles entre cárcamos se incrementa a 7.6 cm siendo el más bajo el de bombeo.

G.- A partir de esta prueba se puede apreciar también la influencia que existe entre tuberías al estar trabajando un modelo y luego abrir otro. En esta parte de la prueba se abrió además la válvula del vertedor de canal lateral y se ve como el gasto en el vertedor de cresta recta bajó en 0.29 l. El gasto bajó en 1%.

En cuanto a cárcamos se refiere, el de almacenamiento tiene ahora un nivel más bajo a pesar de que el vertedor de canal lateral también regresa su gasto al de almacenamiento.

H.- Ahora, se abrió el vertedor triangular y los dos modelos anteriores bajaron su gasto, en cuanto a los

cárcamos, el de almacenamiento siguió siendo el más bajo. Ambos modelos bajaron su gasto en menos del 1% respecto a la condición anterior.

I.- Abriendo el canal Rehbock no hay retorno al cárcamo, los tres modelos previamente abiertos bajaron su gasto y el nivel de los cárcamos se estabilizó. El gasto en los modelos se vió afectado en poco menos del 1% respecto a la condición anterior. El vertedor de cresta recta resultó afectado en un 1.4% respecto a su primera condición.

La variación de nivel en los cárcamos a través del proceso se puede observar en la figura III.2.

	Carga	"mu"	K	C	Q	Carga	Q
	(cm)			(dm <sup>3</sup> .5/s)	(l/s)	v.c.c.	retorno
						(cm)	(l/s)
A.- BOMBA AFAGADA, TANQUE ELEVADO VACIO							
N.carc.almacenam.	-1.379						
N.carc.bombeo	-1.377						
B.- BOMBA ENCENDIDA, TANQUE ELEVADO EN PROCESO DE LLENADO							
N.carc.almacenam.	-1.503						
N.carc.bombeo	-1.523						
C.- BOMBA ENCENDIDA, EMPIEZA EL RETORNO							
N.carc.almacenam.	-1.607						
N.carc.bombeo	-1.617						
D.- BOMBA AFAGADA, TANQUE ELEVADO LLENO							
N.carc.almacenam.	-1.591						
N.carc.bombeo	-1.576					0.00	0.00
E.- BOMBA ENCENDIDA, TANQUE ELEVADO CON RETORNO, SIN MODELOS							
N.carc.almacenam.	-1.603						
N.carc.bombeo	-1.556					2.51	116.23
F.- BOMBA ENCENDIDA, TANQUE ELEVADO CON RETORNO, CON MODELOS							
N.carc.almacenam.	-1.525						
N.carc.bombeo	-1.601					2.21	82.45
Vert. cresta recta	29.460	0.603	1.00	0.71724	33.79		
G.- BOMBA ENCENDIDA, TANQUE ELEVADO CON RETORNO, CON MODELOS							
N.carc.almacenam.	-1.695						
N.carc.bombeo	-1.669					2.04	63.98
Vert. cresta recta	29.360	0.603	1.00	0.71724	33.50		
Vert. canal lateral	23.330	0.603	1.00	0.71335	18.75		
H.- BOMBA ENCENDIDA, TANQUE ELEVADO CON RETORNO, CON MODELOS							
N.carc.almacenam.	-1.831						
N.carc.bombeo	-1.805					1.61	37.09
Vert. cresta recta	29.330	0.603	1.00	0.71724	33.42		
Vert. canal lateral	23.320	0.603	1.00	0.71335	18.73		
Vertedor triangular	26.960	0.603	1.00	0.71522	26.99		
I.- BOMBA ENCENDIDA, TANQUE ELEVADO SIN RETORNO, CON MODELOS							
N.carc.almacenam.	-1.921						
N.carc.bombeo	-1.923					-0.12	0.00
Vert. cresta recta	29.300	0.603	1.00	0.71724	33.33		
Vert. canal lateral	23.300	0.603	1.00	0.71335	18.69		
Vertedor triangular	26.870	0.603	1.00	0.71522	26.77		
Canal Rehbock	22.420	0.593	1.02	1.57313	37.44		
				SUMA GASTOS=		116.23	

TABLA III.4 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA EN CONJUNTO

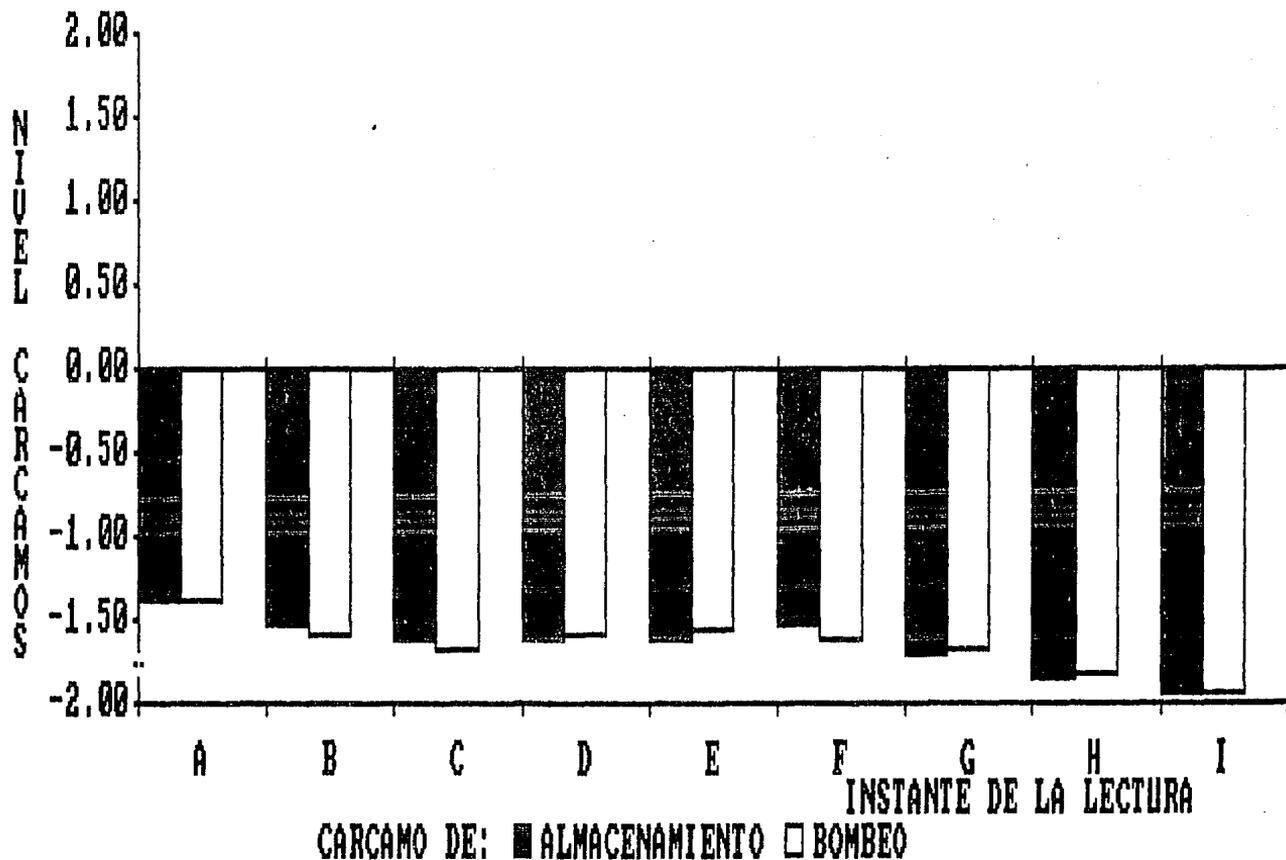


FIGURA III.2 VARIACION DE NIVEL EN LOS CARCAMOS

### III.4 Sistema de bombeo.

#### III.4.1 Potencia y Eficiencia.

En este apartado se hace el cálculo de la potencia y eficiencia de la bomba "D" auxiliándose de la ecuación de la energía (ec. 4.20 de la ref.1). Esta ecuación se verá con mayor detalle en el inciso IV.3.

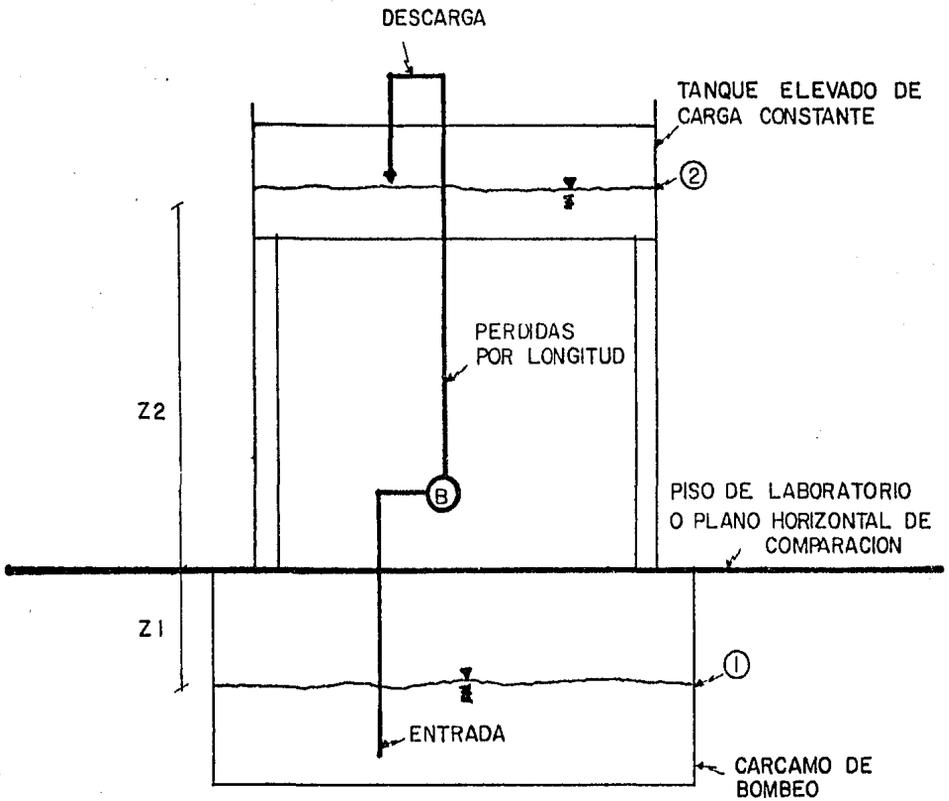
Planteando la ecuación para bombas:

$$Z_1 + HB = Z_2 + E_{hp} \text{ ----- Ec. 3.1}$$

En donde:

- Z<sub>1</sub> = Cota respecto a un plano horizontal de comparación, de la superficie libre del agua, en m.
- HB = Carga proporcionada por la bomba, en m.
- Z<sub>2</sub> = Cota respecto al mismo plano horizontal de comparación, a la superficie libre del agua, en m.
- E<sub>hp</sub> = Sumatoria de pérdidas en la tubería de 1 a 2. Para ver como se consideran estas pérdidas favor de consultar el inciso IV.1.

Para mayor detalle ver croquis III.B.



**CROQUIS III. B ELEMENTOS QUE INTERVIENEN AL ANALIZAR EL SISTEMA DE BOMBEO**

Despejando la carga de la bomba, se tiene:

$$HB = Z_2 - Z_1 + E_{hp} \text{ ----- Ec.3.2}$$

Una vez obtenida la carga de la bomba, se puede obtener su potencia hidráulica en base a la ec. 4.23 de la ref.1:

$$Ph = (\text{gama} * Q * HB) / 76 \text{ ----- Ec.3.3}$$

En donde:

Ph = Potencia hidráulica en H.P.  
 gama = Peso específico del agua.  
 Q = Gasto aforado de la bomba, obtenido de la tabla III.4 = 116.23 dm<sup>3</sup>/s.  
 76 = factor de conversión de kg m/s a H.P.

Para obtener la eficiencia de la bomba se hará la siguiente operación:

$$\text{Eficiencia} = Ph / P \text{ placa} \text{ ----- Ec.3.4}$$

En donde:

Ph = Potencia hidráulica, obtenida de la ec.3.3, en H.P.  
 P placa = Potencia de placa = 30 H.P.

Los resultados de estos cálculos se observan en la

tabla III.3. Se aprecia que las eficiencias son bajas.

Se puede concluir que éstas eficiencias son tan bajas debido al desgaste de la bomba después de tantos años de uso.

Para hacer los cálculos se utilizaron tres situaciones representativas del funcionamiento del sistema, basándose también en la tabla III.4. Se tomaron las condiciones:

- I.- Bomba encendida, t.e. sin retorno, con modelos.
- E.- Bomba encendida, t.e. con retorno, sin modelos.
- B.- Bomba encendida, t.e. en proceso de llenado.

				Condicion:			
				I	E	B	
				Z1 en metros:	-1.9230	-1.5560	-1.5230
				Z2 en metros:	5.5000	5.6300	5.1700
PERDIDAS POR:	Unidad	No. de piezas	K Unit.				
FRICCION (succion)							
Longitud tubo	m			3.0000	3.0000	3.0000	3.0000
Diametro tubo	pulg			12.0000	12.0000	12.0000	12.0000
Area tubo	m <sup>2</sup>			0.0730	0.0730	0.0730	0.0730
FRICCION (descarga)							
Longitud tubo	m			5.6000	5.6000	5.6000	5.6000
Diametro tubo	pulg			10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
Area tubo	m <sup>2</sup>			0.0507	0.0507	0.0507	0.0507
ENTRADA	K			0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
CODOS	K	3	0.25	0.7500	0.7500	0.7500	0.7500
SALIDA	K	1	1.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Gasto							
Gasto	m <sup>3</sup> /s			0.1162	0.1162	0.1162	0.1162
Suma de perdidas	m			0.6351	0.6351	0.6351	0.6351
HB	m			8.0581	7.8211	7.3281	7.3281
Pot. hidraulica	H.P.			12.3235	11.9611	11.2071	11.2071
Pot. de placa	H.P.			30.0000	30.0000	30.0000	30.0000
EFICIENCIA	%			41.0784	39.8702	37.3570	37.3570

TABLA III.5 CALCULO DE LA POTENCIA Y EFICIENCIA EN BOMBA "D".

### III.4.2 Gasto en bomba supuestamente nueva.

Se conoce ya el gasto en la bomba mediante aforo. Ahora se conocerá el gasto de una bomba nueva de iguales características y en las mismas condiciones de operación.

El cálculo se hará a partir de la ecuación 3.1. Analizando el término HB con la ec.3.3:

$$P \text{ placa} * 76 = (\text{gama} * Q * HB) / \text{eficiencia}$$

Despejando HB:

$$HB = (P \text{ placa} * 76 * \text{eficiencia}) / (\text{gama} * Q)$$

En donde:

P placa = 30 H.P.

76 = factor de conversión para obtener metros.  
 eficiencia = 70 %, para una bomba nueva de las características de la bomba "D".

gama = 1,000 Kg/m<sup>3</sup>.

Q = gasto, en m<sup>3</sup>/s.

Sustituyendo valores y operando:

$$HB = 1.596 / Q$$

Sustituyendo en ec.3.1:

$$Z1 + (1.596 / Q) = Z2 + Ehp \text{ ----- Ec.3.5}$$

Los resultados de estos cálculos aparecen en la tabla III.6, muy similar a la III.5. Se utilizaron las mismas situaciones de esta última. Los gastos obtenidos justifican plenamente las eficiencias de la tabla III.5 ya que los gastos obtenidos con la eficiencia de una bomba nueva son mucho mayores que los gastos que puede proporcionar la bomba "D" actualmente en operación.

Condicions:

Z1 en metros: -1.9230      -1.5560      -1.5230  
 Z2 en metros:    5.5000      5.6300      5.1700

PERDIDAS POR:	Unidad	No. de piezas	K Unit.	I	E	B
<b>FRICCION (succion)</b>						
Long.tubo	m			3.0000	3.0000	3.0000
Diam.tubo	pulg			12.0000	12.0000	12.0000
Area tubo	m <sup>2</sup>			0.0730	0.0730	0.0730
<b>FRICCION (descarga)</b>						
Long.tubo	m			5.6000	5.6000	5.6000
Diam.tubo	pulg			10.0000	10.0000	10.0000
Area tubo	m <sup>2</sup>			0.0507	0.0507	0.0507
ENTRADA	K	1	0.20	0.2000	0.2000	0.2000
COODS	K	3	0.25	0.7500	0.7500	0.7500
SALIDA	K	1	1.00	1.0000	1.0000	1.0000
Gasto	m <sup>3</sup> /s			0.1788	0.1824	0.1902
P placa	H.P.			30.0000	30.0000	30.0000
Eficiencia	%			70.0000	70.0000	70.0000

TABLA III.6 CALCULO DE GASTO EN BOMBA NUEVA SUPUESTA.

## IV. PERDIDAS.

## IV.1 Planteamiento de ecuación de la energía.

Planteando la ecuación entre dos secciones 1 y 2 dadas, se tiene:

$$Z_1 + (V_1^2/2g) + (P_1/\gamma) = Z_2 + (V_2^2/2g) + (P_2/\gamma) + E_{hp}$$

En donde:

$Z_{1,2}$  = carga de posición a partir de un plano horizontal de referencia, en las secciones 1 y 2, en m.

$V_{1,2}^2/2g$  = carga de velocidad o energía cinética, en 1 y 2, en m.

$P_{1,2}/\gamma$  = carga de presión, en 1 y 2, en m.

$E_{hp}$  = sumatoria de pérdidas de 1 a 2, en m.

La ecuación se plantea de un punto llamado 1 que en este caso será la cresta del v.c.c., a otro llamado 2 que será la superficie libre del agua en cada uno de los modelos.

Con éste planteamiento de la ecuación se considera que las cargas de velocidad y de presión, tanto en 1 como en 2, valen cero, por lo que la ecuación queda:

$$Z_1 = Z_2 + E_{hp}$$

Dado que las cotas son conocidas, mas no las pérdidas, es necesario hacer el siguiente despeje:

$$Z_1 - Z_2 = E_{hp} \text{ ----- Ec. 4.1}$$

En donde:

$Z_1 = 5.62 \text{ m}$  (obtenido de croquis II.A).

$Z_2 =$  se detallará con el análisis de cada modelo.

El término que falta por aclarar es  $E_{hp}$ , o sea, las pérdidas.

Para el análisis que se va a efectuar se considerarán dos tipos de pérdidas: por fricción y locales.

Las pérdidas por fricción o por longitud se estimarán de acuerdo a las fórmulas de: Manning-Strickler y de Darcy-Weisbach cuyos resultados son muy similares.

La fórmula de Manning-Strickler se obtuvo de la ec. 6.4 de la ref.2 y dice:

$$h_f = \left( \left( \frac{Q * n}{A * r^{2/3}} \right)^2 \right) * L$$

En donde:

$h_f$  = pérdidas por fricción, en m.  
 $Q$  = gasto que fluye por el tubo, en  $m^3/s$ .  
 $n$  = coeficiente de fricción, en  $s/(m^{1/3})$ .  
 $A$  = área de la sección transversal del tubo, en  $m^2$ .  
 $r$  = radio hidráulico de la sección del tubo, en m.  
 $L$  = longitud del tubo, en m.

La fórmula de Darcy-Weisbach se obtuvo de la ec. 8.2a de la ref.1 y dice:

$$h_f = f * ( L / D ) * ( V^2 / 2g )$$

En donde:

$h_f$  = pérdidas por fricción, en m.  
 $f$  = factor de fricción, adimensional.  
 $L$  = longitud del tubo, en m.  
 $D$  = diámetro del tubo, en m.  
 $V$  = velocidad media, en m/s.  
 $g$  = aceleración de la gravedad, en  $m/s^2$ .

El factor de fricción  $f$  se obtendrá de la ec. 8.7 de la ref.1, (Malaika).

Las pérdidas locales se estimarán con la fórmula general obtenida de la ec.8.11 de la ref.1:

$$h_l = K * ( Q^2 / ( 2g * A^2 ) )$$

En donde:

$h_l$  = pérdidas locales.

$K$  = coeficiente sin dimensiones, depende del tipo de pérdida. Estos coeficientes se obtuvieron de la ref.1 de las siguientes tablas:

Condicion:	Figura:
Entrada	8.8
Ampliación	8.11
Reducción	8.14 y tabla 8.5
Codo	8.18
Salida	Tabla 8.19
Válvula	8.30
Bifurcaciones	8.36

Por lo tanto la ecuación 4.2 queda:

$$Z_1 - Z_2 = h_f + h_l \text{ ----- Ec. 4.2}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$C * Q^2 = ( (E_f(L/D)) + E_K ) * ( Q^2 / (A^2 * 2g) ) - \text{Ec. 4.3}$$

En donde:

$C$  = constante que se obtiene con los datos de cada sistema.

Hay que hacer la aclaración de que se tomarán tantos términos de pérdidas por fricción,  $h_f$ , como diámetros de tuberías haya. También se tomarán tantos términos de pérdidas locales,  $h_l$ , como accesorios tenga la tubería.

#### IV.2 Cálculo de pérdidas y gastos en los modelos.

Pasando ahora a los cálculos en los modelos, de acuerdo con la ecuación 4.3 se obtienen los siguientes resultados que se presentan en hojas separadas para cada modelo. Estas hojas constan de seis columnas como sigue:

Primera columna: menciona el tipo de pérdida así como los datos indispensables para el cálculo de las mismas, como son, diámetro de tubo, longitud, etc. Al final de la columna aparecen las pérdidas y el gasto calculado.

Segunda columna: muestra la unidad en la que está expresada la cifra de la quinta columna.

Tercera columna: muestra el número de piezas de iguales características de que se trate.

Cuarta columna: da el K unitario obtenido de las figuras antes mencionadas.

Quinta columna: muestra las cantidades definitivas necesarias para el cálculo, como son: longitud de tubería obtenida desde que sale del t.e. hasta que

descarga en el modelo, diámetro de las tuberías, los resultados de las K totales a aplicar, y por último, en la parte inferior y el gasto calculado en m<sup>3</sup>/s.

Sexta columna: son notas respecto a las pérdidas consideradas.

A continuación se presentan las hojas con los cálculos por modelo.

VERTEDOR DE CANAL LATERAL.

Z1 = 5.62 m  
Z2 = 0.97 m

PERDIDAS POR:	Unidad	No.de Piezas	K	unit.	notas:
FRICCION					Tres tramos de 4"
Long.tubo	m			38.82000	
Diam.tubo	pulg			4.00000	
Area tubo	m <sup>2</sup>			0.00811	
Darcy	f			0.02100	
ENTRADA	K	1	0.50	0.50000	En tanque elevado
TEES	K	3	0.14	0.42000	De 4"en flujo principal
TEE FINAL	K	1	0.68	0.68000	De 4"en flujo lateral
CODOS	K	2	0.30	0.60000	De 4"regular con bridas
CODOS	K	2	0.21	0.42000	De 4"amplio soldado
VALVULA	K	1	0.17	0.17000	De 4"compuerta
SALIDA	K	1	1.00	1.00000	De 4"
SUMA DE PERDIDAS	m			4.64876	
GASTO CALCULADO	m <sup>3</sup> /s			0.02070	Gasto calculado

TABLA IV.1 GASTO TEORICO EN VERTEDOR DE CANAL LATERAL

MODELO: VERTEDEDOR DE ABANICO

Z1 = 5.62 m  
Z2 = 0.77 m

PERDIDAS POR:	Unidad	No. de Piezas	K unit.	notas:
FRICCION				Tres tramos de 10"
Long.tubo	m		44.25000	
Diam.tubo	pulg		10.00000	
Area tubo	m2		0.05067	
FRICCION				Tramos de 4"en el modelo
Long.tubo	m		5.46000	
Diam.tubo	pulg		4.00000	
Area tubo	m2		0.00811	
ENTRADA	K		0.50000	En tanque elevado
CODDS	K	2	0.25	0.50000 Regulares de 10"con bridas
T's	K	3	0.09	0.27000 De 10" flujo principal
T final	K	1	0.50	0.50000 De 10"flujo lateral
REDUCCION	K	1	0.44	0.44000 De 10"a 4"
CODDS	K	1	0.21	0.21000 De 4"amplio soldado
CODDS	K	1	0.70	0.70000 De 4"regular c/rosca
VALVULA	K	1	0.17	0.17000 De 4"compuerta
SALIDA	K	1	1.00	1.00000 De 4"
SUMA DE PERDIDAS	m		4.84907	
GASTO CALCULADO	m3/s		0.04134	Gasto calculado

TABLA IV.2 GASTO CALCULADO EN VERTEDEDOR DE ABANICO

MODELO: OBRA DE TOMA

Z1 = 5.62 m  
Z2 = 1.32 m

PERDIDAS POR:	Unidad	No. de piezas	K	unit.	notas:
FRICCIÓN					Tres tramos de 10"
Long.tubo	m			40.25000	
Diam.tubo	pulg			10.00000	
Area tubo	m <sup>2</sup>			0.05067	
FRICCIÓN					Tres tramos de 4"
Long.tubo	m			8.45000	
Diam.tubo	pulg			4.00000	
Area tubo	m <sup>2</sup>			0.00811	
ENTRADA	K			0.50000	En tanque elevado
CODOS	K	2	0.25	0.50000	De 10"
T's	K	2	0.09	0.18000	De 10"flujo principal
T final	K	1	0.50	0.50000	De 10"flujo lateral
REDUCCIÓN	K	1	0.44	0.44000	De 10" a 4"
CODOS	K	1	0.21	0.21000	De 4"amplio soldado
CODOS	K	1	0.70	0.70000	De 4"regular c/rosca
VALVULA	K	1	0.17	0.17000	De 4"compuerta
SALIDA	K	1	1.00	1.00000	De 4"
SUMA DE PERDIDAS	m			4.29466	
GASTO CALCULADO	m <sup>3</sup> /s			0.03534	Gasto calculado

TABLA IV.3 GASTO CALCULADO EN OBRA DE TOMA

MODELO: VERTEDEDOR DE CRESTA RECTA

Z1 = 5.62 m  
Z2 = 1.00 m

PERDIDAS POR:	Unidad	No. de Piezas	K unit.		notas:
					Tres tramos de 10"
FRICCION					
Long.tubo	m			36.25000	
Diam.tubo	pulg			10.00000	
Area tubo	m2			0.05067	
					Tres tramos de 4"
FRICCION					
Long.tubo	m			1.68000	
Diam.tubo	pulg			4.00000	
Area tubo	m2			0.00811	
ENTRADA	K			0.50000	En tanque elevado
CODOS	K	2	0.25	0.50000	De 10"regular con bridas
T's	K	1	0.09	0.09000	De 10"flujo principal
T final	K	1	0.50	0.50000	De 10"flujo lateral
REDUCCION	K	1	0.44	0.44000	De 10" a 4"
CODOS	K	1	0.21	0.21000	De 4"amplio soldado
CODOS	K	1	0.70	0.70000	De 4"regular c/rosca
VALVULA	K	1	0.17	0.17000	De 4"compuerta
SALIDA	K	1	1.00	1.00000	De 4"
SUMA DE PERDIDAS				4.62233	
GASTO CALCULADO	m3/s			0.04747	Gasto calculado

TABLA IV.4 GASTO CALCULADO EN VERTEDEDOR DE CRESTA RECTA

MODELO: POZOS DE OSCILACION

Z1 = 5.62 m  
 Z2 = 1.31 m

PERDIDAS POR:	Unidad	No. de Piezas	K unit.	notas:
FRICCION				Tres tramos de 10"
Long.tubo	m		32.25000	
Diam.tubo	pulg		10.00000	
Area tubo	m <sup>2</sup>		0.05067	
FRICCION				Tres tramos de 4"
Long.tubo	m		4.06000	
Diam.tubo	pulg		4.00000	
Area tubo	m <sup>2</sup>		0.00811	
ENTRADA	K		0.50000	En tanque elevado
CODDS	K	2	0.25	0.50000 De 10"regular con bridas
T final	K	1	0.50	0.50000 De 10"flujo lateral
REDUCCION	K	1	0.44	0.44000 De 10" a 4"
CODDS	K	2	0.70	1.40000 De 4"regular c/rosca
VALVULA	K	1	0.17	0.17000 De 4"compuerta
SALIDA	K	1	1.00	1.00000 De 4"
SUMA DE PERDIDAS	m		4.31077	
GASTO CALCULADO	m <sup>3</sup> /s		0.03850	Gasto calculado

TABLA IV.5 GASTO CALCULADO EN POZOS DE OSCILACION

MODELO: DRENAJE PROFUNDO

Z1 = 5.62 m  
Z2 = 0.77 m

PERDIDAS POR:	Unidad	No. de Piezas	K unit.	notas:
<b>FRICCION</b>				
Long.tubo	m			Un tramos de 12"
Diam.tubo	pulg			
Area tubo	m2			
				21.05000
				10.00000
				0.05067
<b>FRICCION</b>				
Long.tubo	m			Dos tramo de 8"
Diam.tubo	pulg			
Area tubo	m2			
				1.26000
				8.00000
				0.03243
<b>FRICCION</b>				
Long.tubo	m			Un tramo de 6"
Diam.tubo	pulg			
Area tubo	m2			
				0.27000
				6.00000
				0.01824
ENTRADA	K			0.50000 En tanque elevado
CODOS	K	1	0.24	0.24000 De 12"regular con bridas
TEE	K	1	0.48	0.48000 De 12"flujo lateral c/br
REDUCCION	K	1	0.33	0.33000 De 12"a 8"
CODOS	K	2	0.26	0.52000 De 8"regular con bridas
TEE	K	1	0.55	0.55000 De 8"flujo lateral c/bri
REDUCCION	K	1	0.28	0.28000 De 8"a 6"
VALVULA	K	1	0.11	0.11000 De 6"compuerta
AMPLIACION	K	1	0.60	0.60000 De 6"a 8"
CODOS	K	1	0.26	0.26000 De 8"regular con bridas
SALIDA	K	1	1.00	1.00000 De 8"
SUMA DE PERDIDAS	m			4.84967
GASTO CALCULADO	m <sup>3</sup> /s			0.12486 Gasto calculado

TABLA IV.6 GASTO CALCULADO EN DRENAJE PROFUNDO

MODELO: VERTEDDOR TRIANGULAR

Z1 = 5.62 m  
Z2 = 1.80 m

PERDIDAS POR:	Unidad	No. de piezas	K unit.		notas:
<b>FRICCION</b>					
					Dos tramos de 12"
Long.tubo	m			21.55000	
Diam.tubo	pulg			12.00000	
Area tubo	m <sup>2</sup>			0.07297	
<b>FRICCION</b>					
					Un tramos de 10"
Long.tubo	m			22.30000	
Diam.tubo	pulg			10.00000	
Area tubo	m <sup>2</sup>			0.05067	
<b>FRICCION</b>					
					Un tramo de 8"
Long.tubo	m			0.80000	
Diam.tubo	pulg			8.00000	
Area tubo	m <sup>2</sup>			0.03243	
ENTRADA	K			0.50000	En tanque elevado
CODOS	K	1	0.24	0.24000	De 12"regular con bridas
TEE	K	1	0.08	0.08000	De 12"flujo principal c/
TEE	K	1	0.48	0.48000	De 12"flujo lateral c/br
REDUCCION	K	1	0.23	0.23000	De 12"a 10"
TEE	K	1	0.50	0.50000	De 10"flujo lateral c/br
REDUCCION	K	1	0.24	0.24000	De 10"a 8"
CODOS	K	1	0.15	0.15000	De 8"amplio con bridas
VALVULA	K	1	0.08	0.08000	De 8"compuerta
SALIDA	K	1	1.00	1.00000	De 8"
SUMA DE PERDIDAS	m			3.82007	
GASTO CALCULADO	m <sup>3</sup> /s			0.16530	Gasto calculado

TABLA IV.7 GASTO CALCULADO EN VERTEDDOR TRIANGULAR

MODELO: CANAL DE FONDO MOVIL

Z1 = 5.62 m  
Z2 = 1.40 m

PERDIDAS FOR:	Unidad	No. de piezas	K	unit.	notas:
<b>FRICCION</b>					
Dos tramos de 12"					
Long.tubo	m			21.55000	
Diam.tubo	pulg			12.00000	
Area tubo	m <sup>2</sup>			0.07297	
<b>FRICCION</b>					
Un tramo de 10"					
Long.tubo	m			58.00000	
Diam.tubo	pulg			10.00000	
Area tubo	m <sup>2</sup>			0.05067	
ENTRADA	K			0.50000	En tanque elevado
CODOS	K	1	0.24	0.24000	De 12"regular con bridas
TEE	K	1	0.08	0.08000	De 12"flujo principal c/
TEE	K	1	0.48	0.48000	De 12"flujo lateral c/br
REDUCCION	K	1	0.23	0.23000	De 12"a 10"
TEE	K	1	0.09	0.09000	De 10"flujo principal c/
CODOS	K	1	0.25	0.25000	De 10"regular con bridas
CODOS	K	1	0.14	0.14000	De 10"amplio con bridas
VALVULA	K	1	0.06	0.06000	De 10"compuerta
SALIDA	K	1	1.00	1.00000	De 10"
SUMA DE PERDIDAS	m			5.61980	
GASTO CALCULADO	m <sup>3</sup> /s			0.17558	Gasto calculado

TABLA IV.8 GASTO CALCULADO EN CANAL DE FONDO MOVIL

MODELO: CANAL REHBOCK

Z1 = 5.62 m  
Z2 = 1.67 m

PERDIDAS POR:	Unidad	No. de Piezas	K unit.	notas:
				Dos tramos de 10"
FRICCIÓN				
Long.tubo	m		13.70000	
Diam.tubo	puig		10.00000	
Area tubo	m2		0.05067	
				Dos tramos de 8"
FRICCIÓN				
Long.tubo	m		21.72000	
Diam.tubo	puig		8.00000	
Area tubo	m2		0.03243	
ENTRADA	K		0.50000	En tanque elevado
CODOS	K	1	0.25	0.25000 De 10"regular con bridas
TEE	K	1	0.50	0.50000 De 10"flujo lateral c/br
REDUCCION	K	1	0.24	0.24000 De 10"a 8"
TEE	K	1	0.55	0.55000 De 8"flujo lateral c/bri
CODDS	K	1	0.26	0.26000 De 8"regular con bridas
VALVULA	K	1	0.08	0.08000 De 8"compuerta
SALIDA	K	1	1.00	1.00000 De 8"
SUMA DE PERDIDAS	m		3.95033	
GASTO CALCULADO	m3/s		0.12520	Gasto calculado

TABLA IV.9 GASTO CALCULADO EN CANAL REHBOCK

MODELO:

MESA DE ENSAYOS DE RIOS

Z1 = 5.62 m  
Z2 = 0.74 m

PERDIDAS POR:	Unidad	No. de Piezas	K unit.	notas:
FRICCION				
Long.tubo	m			Dos tramos de 10"
Diam.tubo	pulg			13.70000
Area tubo	m2			10.00000
				0.05067
FRICCION				
Long.tubo	m			Un tramo de 8"
Diam.tubo	pulg			21.58000
Area tubo	m2			8.00000
				0.03243
ENTRADA	K			0.50000 En tanque elevado
CODOS	K	1	0.25	0.25000 De 10"regular con bridas
TEE	K	1	0.50	0.50000 De 10"flujo lateral c/br
REDUCCION	K	1	0.24	0.24000 De 10" a 8"
TEE	K	1	0.55	0.55000 De 8"flujo lateral c/bri
CODOS	K	1	0.26	0.26000 De 8"regular con bridas
VALVULA	K	1	0.08	0.08000 De 8"compuerta
SALIDA	K	1	1.00	1.00000 De 8"
SUMA DE PERDIDAS	m			4.87997
GASTO CALCULADO	m3/s			0.13935 Gasto calculado

TABLA IV.10 GASTO CALCULADO EN MESA DE ENSAYOS DE RIOS

MODELO: TURBINA FRANCIS

Z1 = 5.62 m  
Z2 = 0.91 m

PERDIDAS POR:	Unidad	No. de Piezas	K	unit.	notas:
					Cuatro tramos de 10"
FRICCION					
Long.tubo	m			7.16000	
Diam.tubo	pulg			10.00000	
Area tubo	m <sup>2</sup>			0.05067	
ENTRADA	K			0.50000	En tanque elevado
CODOS	K	3	0.25	0.75000	De 10"regular con bridas
VALVULA	K	1	0.06	0.06000	De 10"compuerta
REDUCCION	K	1	0.24	0.24000	De 10" a 8"
SALIDA	K	1	1.00	1.00000	De 8"
P/GAMA	m			3.92000	En la seccion 2
SUMA DE PERDIDAS	m			0.59757	
GASTO CALCULADO	m <sup>3</sup> /s			0.09847	Gasto calculado

NOTA: En este caso la descarga de la tubería se encuentra a presión por lo que aparece el término P/GAMA.

TA2LA IV.11 GASTO CALCULADO EN TURBINA FRANCIS

MODELO: TURBINA KAPLAN

Z1 = 5.62 m  
Z2 = 0.91 m

PERDIDAS POR: Unidad No. de K unit. notas:  
Piezas

PERDIDAS POR:	Unidad	No. de Piezas	K unit.		notas:
FRICCION					Cinco tramos de 10"
Long.tubo	m			13.80000	
Diam.tubo	pulg			10.00000	
Area tubo	m <sup>2</sup>			0.05067	
ENTRADA	K			0.50000	En tanque elevado
CODOS	K	3	0.25	0.75000	De 10"regular con bridas
CODOS	K	1	0.17	0.17000	De 45 grados 10"
VALVULA	K	1	0.06	0.06000	De 10"compuerta
REDUCCION	K	1	0.16	0.16000	
AMPLIACION	K	1	0.51	0.51000	
SALIDA	K	1	1.00	1.00000	De 10"
P/GAMA	m			3.81000	En la seccion 2
SUMA DE PERDIDAS	m			0.72761	
GASTO CALCULADO	m <sup>3</sup> /s			0.09321	Gasto calculado

NOTA: En este caso la descarga de la tubería se encuentra a presión por lo que aparece el término P/GAMA.

TABLA IV.12 GASTO CALCULADO EN TURBINA KAPLAN

#### IV.3 Gasto máximo en modelos.

La prueba descrita a continuación tuvo por objeto verificar el gasto máximo capaz de proporcionar la toma de cada modelo. La prueba se hizo con la válvula correspondiente totalmente abierta sin importar que el agua pasara por encima del vertedor aforador ni que derramara por encima de las paredes del modelo.

Una vez que la válvula se abre a toda su capacidad, se verifica que continúe el retorno al cárcamo de bombeo. En caso de que se agote dicho retorno, quiere decir que la toma agota la capacidad de la bomba y que necesitaría ser operada con dos bombas. Este caso sucedió con las tomas listadas a continuación y no pudieron ser probadas ya que la bomba "C" se encontraba descompuesta.

Drenaje profundo.  
Vertedor triangular.  
Canal de fondo móvil.  
Mesa de ensayo de ríos.

Este último no pudo ser probado de ninguna forma ya que la arena con que opera pasaría a los cárcamos.

Si la toma, aún abierta en su totalidad, sigue teniendo retorno al cárcamo y el aforo en el modelo no es

posible, entonces el gasto se obtiene abriendo tantos modelos como sean necesarios hasta agotar el retorno cuidando de que el nivel de agua en el t.e. no quede por abajo de 5 cm de la cresta del v.c.c.

Una vez aforado el gasto de los modelos auxiliares, el gasto de la toma en cuestión se obtiene restando del resultado del gasto para la bomba "D" de la tabla II.1.2 (104.43 l/s) la suma de los gastos de los modelos auxiliares.

Para la obtención de las "pérdidas aforadas" se utilizó el Q aforado y los datos de accesorios y longitud en cada sistema de acuerdo a los cálculos de la sección IV.2.

Los resultados se presentan en la tabla IV.13. Esta tabla es, además, un resumen de los resultados del apartado IV.2.

	Carga (cm)	"mu"	K	C	Q aforado (l/s)	Q calcul. (l/s)	Perdidas aforadas (m)	Perdidas calculadas (m)
<b>VERTEDOR DE CANAL LATERAL</b>								
Vert. canal lateral	23.27	0.60	1.00	0.71	18.63	20.70	3.77	4.65
<b>VERTEDOR DE ABANICO</b>								
Vertedor de abanico	NOTA				40.24	41.34	4.59	4.85
Vert. canal lateral	23.25	0.60	1.00	0.71	18.59			
Canal Rehbock	11.08	0.59	1.02	1.57	6.43			
Vertedor triangular	31.29	0.60	1.00	0.72	39.17			
					Suma gastos=	104.43		
<b>OBRA DE TOMA</b>								
Obra de toma	NOTA				40.35	35.34	5.60	4.29
Vert. canal lateral	23.10	0.60	1.00	0.71	18.30			
Canal Rehbock	12.28	0.59	1.02	1.57	8.31			
Vertedor triangular	30.74	0.60	1.00	0.72	37.47			
					Suma gastos=	104.43		
<b>VERTEDOR DE CRESTA RECTA</b>								
Vert. cresta recta	NOTA				42.11	47.47	3.64	4.62
Vert. canal lateral	23.19	0.60	1.00	0.71	18.47			
Canal Rehbock	9.38	0.59	1.02	1.57	4.24			
Vertedor triangular	31.43	0.60	1.00	0.72	39.61			
					Suma gastos=	104.43		
<b>POZOS DE OSCILACION</b>								
Pozos de oscilacion	NOTA				45.70	38.50	6.07	4.31
Vert. canal lateral	23.18	0.60	1.00	0.71	18.45			
Vertedor triangular	31.64	0.60	1.00	0.72	40.27			
					Suma gastos=	104.43		
<b>CANAL REHBOCK</b>								
Canal Rehbock	NOTA				99.42	125.20	2.49	3.95
Vert. canal lateral	13.76	0.60	1.00	0.71	5.01			
					Suma gastos=	104.43		
<b>TURBINA FRANCIS</b>								
Turbina Francis	17.90	0.65		1.93	87.82	98.47	0.48	0.60
<b>TURBINA KAPLAN</b>								
Turbina Kaplan	16.54	0.65		1.93	77.92	93.21	0.51	0.73
NOTA: como el gasto no se pudo leer directamente del modelo, este se obtuvo restando al gasto de la bomba (104.43 l/s) la suma de los gastos de los modelos auxiliares.								
<b>MODELOS NO PRBADOS:</b>								
Drenaje profundo					104.36			4.85
Vertedor triangular					185.30			3.82
Canal de fondo movil					195.58			5.62
Mesa de ensayos de rios					139.35			4.88

FIG. IV.13 GASTOS MAXIMOS AFORADOS VS. REBRICOS.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### V.1 Reparaciones.

Al estar trabajando en todo el laboratorio se pueden apreciar mejor las reparaciones que son necesarias para el mejor funcionamiento de éste. Las consideradas como más importantes son las siguientes:

#### + En modelos:

En todos los modelos se recomienda revisar los tubos y válvulas de vaciado de los tanques tranquilizadores.

Se recomienda asimismo hacer una revisión general de los instrumentos de medición en cada modelo, como el medidor de gasto en la turbina Kaplan y los limnímetros de otros modelos que están desajustados o no son los adecuados.

En cuanto a otras reparaciones, es necesario reponer vidrios de observación rotos y pegar piezas de lucita desprendidas.

#### + En tuberías:

Las tuberías en general se encuentran en buenas condiciones, con excepción de las que se encuentran en el t.e. La de descarga de la bomba "C" se encuentra perforada.

Además, todas las descargas se encuentran deshechas por la corrosión. Este es el resultado de casi 25 años de servicio.

+ En tanque elevado:

Al iniciarse este trabajo se encontró que el v.c.c. se encontraba caído, se reportó, e inmediatamente se reparó. Sin embargo continúan los defectos mencionados en el inciso III.2.1 por lo que se recomienda una minuciosa nivelación y un anclaje al centro.

Se recomienda, además, destapar la comunicación inferior entre tanques tranquilizadores para así poder vaciar totalmente el tanque, lo que trae entre otras ventajas: reparaciones mas sencillas y evitar que quede con humedad en periodos de vacaciones.

+ En bombas:

Aquí las recomendaciones salen sobrando. De cuatro bombas con que se cuenta, sólo una funciona. Es un equipo muy costoso que está parado, echándose a perder más, por reparaciones que son relativamente baratas en comparación al costo de los equipos. Hay que hacer notar que en el momento de la preparación del presente trabajo la bomba "C" ya se encontraba en reparación.

## V.2 Operación del equipo de bombeo.

La operación de los modelos a lo largo de este trabajo se hizo a toda su capacidad de aforo. Pero la realidad es que nunca se opera un modelo de esta forma al hacer una práctica. Además, se llegaron a operar hasta cuatro modelos a un mismo tiempo cosa que casi nunca sucede. A continuación se propone una tabla de operación progresiva de modelos, con gastos un poco altos para ser de prácticas de las que se realizan diariamente en el laboratorio y se utilizan hasta cuatro modelos simultáneamente.

Num. de modelos:	Gastos en l/s:				TOTAL
Un modelo	30				30
Dos modelos	30	20			50
Tres modelos	30	20	25		75
Cuatro modelos	30	20	25	15	90

TABLA V.1 OPERACION TIPICA DE MODELOS EN EL LABORATORIO

Se puede observar que operando de esta forma, el gasto que suministra la bomba "D" sobra para operar cuatro modelos. Esta tabla desde luego no incluye modelos de gran consumo como serían las turbinas o el canal de fondo móvil.

#### V.2.1 Costo de operación del equipo actual.

Tomando en cuenta la eficiencia óptima de la tabla III.5 la sustituimos en la siguiente ecuación de potencia:

$$P = (\text{gama} * Q * HB * 9.81) / (\text{eficiencia} * 1,000) - \text{ec.5.1}$$

En donde:

- P = Potencia en Kilowatts.
- Q = 116.2 dm<sup>3</sup>/s, de la tabla III.5.
- HB = 8.06 m., de la tabla III.5.
- 9.81 = factor de conversión de kg m/s a watt.
- eficiencia = 41.08 %, de la tabla III.5.
- 1,000 = factor de conversión de watts a kilowatts.

Sustituyendo todos los valores y haciendo operaciones se tiene por resultado:

$$P = 22.37 \text{ Kw}$$

Entonces el consumo de energía eléctrica por hora será:

$$C = 22.37 \quad * \quad 1 \text{ Kw hr/hr}$$

Considerando que el costo promedio actual por kilowatt-hora es de quince pesos, se tiene que el costo de operación de la bomba "D" por concepto de energía eléctrica es:

$$\text{Costo/hora} = 22.37 \text{ Kw hr/hr} * \$15.00/\text{Kw-hora} = \$ 335.55/\text{hora}$$

Se sabe que el equipo opera alrededor de seis horas diarias, cinco días a la semana, cuatro semanas al mes. Por lo que el costo mensual de energía eléctrica por concepto de bombeo es:

$$\begin{aligned} \text{costo mensual} &= \$ 335.55/\text{hr} * 6 \text{ hr/día} * 5 \text{ día/sem.} * 4 \\ &\text{sem./mes} = \$ 40,266.00 \end{aligned}$$

Se tiene que considerar adicionalmente que esta bomba se enciende así se opere un modelo o se operen tres, por lo

que el costo por práctica es muy alto.

### V.2.2 Alternativa para equipo de bombeo.

Con la ecuación 3.3 se calculará la potencia de bombeo necesaria para operar dos modelos simultáneamente según la tabla V.1. Se sugieren dos modelos, pues rara vez se imparten mas prácticas simultáneamente.

Elementos necesarios en la ecuación 3.3:

Gama = 1,000 Kg/m<sup>3</sup>.  
 Q = 0.050 m<sup>3</sup>/s.  
 HB = 8.00 m.  
 eficiencia = 70 %

Potencia = 7.52 H.P.

Como no existe una bomba con este motor, se ajusta a 8 H.P. y convirtiendo a watts:

8 H.P. = 5.97 Kw

El costo de operación horaria sería:

costo = 5.97 Kw \* \$15.00/Kw-hora = \$89.55/hora

Costo mensual:

$$\begin{aligned} \text{costo mensual} &= \$89.55 * 6 \text{ hr/día} * 5 \text{ días/sem.} * 4 \text{ sem/mes} \\ &= \$ 10,746.00/\text{mes} \end{aligned}$$

El uso de una bomba de 8 H.P. en prácticas de poco gasto significaría un ahorro de:

$$\$ 29,520.00 \text{ mensuales}$$

Además faltaría considerar gastos de mantenimiento y reparación.

La razón final, y tal vez la más importante para proponer una bomba de caballaje menor, es que cuando se realizan prácticas, SIEMPRE hay retorno del t.e. al cárcamo y cada litro de retorno es dinero tirado.

Otra alternativa es el uso de otra bomba para cuando se imparta una sola práctica, situación que es la más común en el laboratorio. Se seguirá el mismo procedimiento, con la ecuación 3.3, pero con un gasto de 30 l/s:

$$P = 4.51 \text{ H.P.}$$

Se ajusta a 5 H.P. y convirtiendo a watts:

$$5 \text{ H.P.} = 3.73 \text{ Kw}$$

El costo de operación horaria sería:

$$3.73 \text{ Kw} * \$ 15.00/\text{Kw-hora} = \$55.95/\text{hora}$$

Costo mensual:

$$\$55.95/\text{hora} * 6\text{hr}/\text{día} * 5 \text{ días}/\text{sem.} * 4\text{sem.}/\text{mes} = \$6,714$$

Cantidad que representa un ahorro de \$33,552.00 respecto a la bomba de 30 H.P.

Los resultados de todas las consideraciones anteriores se presentan en la siguiente tabla:

Potencia Bomba	Equivale a:	Costo mensual	Gasto
5 H.P.	3.73 Kw	\$ 6,714.00	30 l/s
8 H.P.	5.97 Kw	\$ 10,746.00	50 l/s
30 H.P.	22.37 Kw	\$ 40,266.00	116 l/s

TABLA V.2 TABLA COMPARATIVA DE DISTINTAS BOMBAS.

El laboratorio cuenta con una bomba de 5 H.P., como se vió en el capítulo II.4.1. Lo único que hace falta es repararla para así obtener significativos ahorros.

### V.3 Funcionamiento simultáneo de modelos.

En el capítulo III.3 y tabla III.4, se pueden ver los resultados de la prueba de funcionamiento del sistema en conjunto.

Uno de los resultados importantes que se obtuvieron de esta prueba fué el poder observar cómo afecta a un modelo en operación el inicio de operación de otro.

A través de esta prueba se pudo ver que no hay una variación en el gasto mas allá del 1% en cualquiera de los modelos de un paso a otro. Pero el modelo de vertedor de cresta recta tuvo una variación de 1.36% en su gasto, desde el inicio hasta el final de la prueba.

Como conclusión se puede decir que esta variación no tiene importancia si se está realizando una práctica ordinaria. Pero hay que tener mucho cuidado en no poner en operación otro modelo si se está haciendo una investigación de importancia.

#### V.4 El laboratorio en la enseñanza de la hidráulica.

Este tema es muy extenso, pero a grandes rasgos se puede decir que el laboratorio es un elemento esencial para reafirmar lo visto en clase. Es muy difícil comprender totalmente un concepto visto en el pizarrón si no se ve después en la práctica.

Debido a esto último, es fácil imaginar lo que pasaría si el laboratorio deja de funcionar total o parcialmente. De aquí la necesidad de conservar todos los modelos, bombas, cárcamos, tuberías y tanques elevados en óptimas condiciones de operación, tanto por economía como para evitar suspensiones en el servicio.

En estos últimos meses y durante gran parte del desarrollo de este trabajo, el laboratorio se ha encontrado en situación crítica debido a que solo una bomba se encuentra en operación constante y con peligro de descomponerse, poniendo fuera de servicio al laboratorio y trayendo como consecuencia una incompleta enseñanza de la hidráulica.

Por todo lo anterior, es recomendable dejar el laboratorio en óptimas condiciones de operación a la brevedad posible.

## NOTACION.

Debido a limitaciones de impresión. Se utilizaron los siguientes símbolos, iniciales y abreviaturas a lo largo del trabajo:

A	Area.
C	Coeficiente de descarga.
D	Diámetro.
dm	Decímetros.
dm <sup>3</sup>	Decímetros cúbicos.
g	Aceleración de la gravedad.
h	Carga.
HB	Carga de bombeo.
hf	Pérdidas por fricción.
hl	Pérdidas por longitud.
hp	Pérdidas.
H.P.	Horse power, caballos de fuerza.
hr	Hora(s).
Kg	Kilogramos.
Kw	Kilowatt.
l	Litros.
L	Longitud.
m	Metros.
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados.
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos.
mm	Milímetros.
P	Potencia.
Pn	Presión en el punto n.
pulg	Fulgadas.
Ph	Potencia hidráulica.
"	Fulgadas.
Q	Gasto.
s	Segundo(s).
seg	Segundo(s).
sem	Semana(s).
t.e.	Tanque elevado de carga constante.
v.c.c.	Vertedor de carga constante.
Vn	Velocidad en el punto n.
Zn	Cota en el punto n.
+	Suma.
-	Resta.
*	Multiplicación.
/	División.
y <sup>x</sup>	"y" elevado a la "x".
%	Por ciento.

## BIBLIOGRAFIA.

- Ref.1 Sotelo Avila, Gilberto  
Hidráulica general  
Volúmen 1  
Limusa, 1982
- Ref.2 Torres Herrera, Francisco  
Obras hidráulicas  
Limusa, 1983
- Ref.3 Ruiz, José Ignacio  
Tesis profesional  
UNAM, 1961

## Otras obras consultadas:

- Davis, Calvin Victor  
Handbook of applied Hydraulics  
McGraw-Hill, 1942
- Gieck, Kurt  
Manual de fórmulas técnicas  
R.S.I., 1981
- Rincón Gutiérrez, Roberto  
Apuntes de clase  
F.I., 1985