

3868
3220

TES, 2073

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPTO. DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

DISEÑO DE UNA ESTACION HIDROLOGICA

Trabajo Especial presentado ante
la Ilustre Universidad Central de
Venezuela, para optar al título de:

INGENIERO HIDROMETEOROLOGISTA

Hugo Enrique Duarte Linares

Tes
0105
Ej: 1

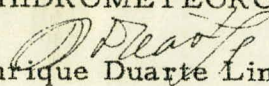
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPTO. DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DEPTO. DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

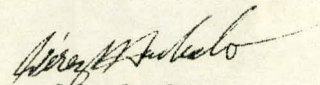
DISEÑO DE UNA ESTACION HIDROLOGICA

Trabajo Especial presentado ante
la Ilustre Universidad Central de
Venezuela, para optar al título de:

INGENIERO HIDROMETEOROLOGISTA


Hugo Enrique Duarte Linares

Profesor Guía:


José L. Pérez Machado

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos
A mi patria El Salvador
A la Organización de Naciones Unidas

AGRADECIMIENTO.

A todos los Profesores que contribuyeron a mi formación profesional.

RECONOCIMIENTO.

A las personas que en una u otra forma colaboraron en la ejecución de este trabajo, en especial al Profesor José L. Pérez Machado, quien no solo ha sido Profesor Guía de esta Tesis, sino también compañero de trabajo en la realización de la misma. Va también mi reconocimiento al Dr. Rafael Convit quien desinteresadamente ha guiado estas paginas.

Asi mismo, se agradece a las Autoridades del I.N.O.S. por la colaboración prestada al facilitarnos el acceso al Laboratorio Hidráulico de ese Instituto.

INDICE

	página
Introducción	1
Métodos para medir o aforar gastos.	2
Escogencia del sitio de instalación.	3
Instalación de una estación cable-canastilla.	7
Construcción de modelos hidráulicos.	16
Ensayos en los modelos.	19
Análisis de las gráficas.	22
Sistema de Limpieza-Control	30
Miras .	31
Consideraciones Administrativas, costos.	33
Conclusiones.	35
Bibliografía	36
Anexos	37

INTRODUCCION

La finalidad de este trabajo es revisar las instalaciones de una estación hidrológica y ver las posibles modificaciones que se puedan realizar, desde el punto de vista experimental.

Se hizo más hincapié en la relación que existe entre el ci ^{bozo} lindro de reposo y el sistema de comunicación con el río, ya que esto tiene gran decisión sobre la calidad del registro. Los ensayos se hicieron en el Laboratorio Hidráulico del Instituto Nacional de Obras Sanitarias, en modelos escogidos tentativamente, que posteriormente constatamos con la práctica.

Se construyeron tres modelos de estaciones entre las cuales estaba incluido el modelo de estación actual y las otras dos con modificaciones a ésta, con las que se llegó a conclusiones particulares de cada uno.

Se excluyeron en estos ensayos el tema de sedimentación. Se recomienda ampliar este trabajo con la inclusión de este tema, dado el papel tan importante que desempeña en la pureza de los registros.

METODOS PARA MEDIR O AFORAR GASTOS

GENERALIDADES

Como resultado de las múltiples y variadas demandas, se han ideado distintas clases de métodos para aforar gastos. Algunos de estos métodos requieren aparatos hechos con esmero que son complicados y costosos. Otros sistemas más sencillos son relativamente poco costosos. El mejor método para usar en un caso dado depende del volumen de la corriente, de las condiciones bajo las cuales se va a realizar el aforo y del grado de exactitud deseado.

En general, todas las mediciones de corriente de agua pueden clasificarse en una de las dos divisiones que junto con una lista de los métodos más importantes comprendidos en cada una, se indican a continuación:

1. - Métodos de área-velocidad, siendo la velocidad medida por:
 - a) Medidor de corriente o aforador
 - b) Tubo de Pitot
 - c) Flotadores
 - d) Pantalla corrediza
 - e) Método del color o velocidad del color
2. - Método de gasto o caudal directo
 - a) Gravimétrico
 - b) Volumétrico
 - c) Vertederos

d) Orificios

f) Venturi etc.

ESCOGENCIA DEL SITIO DE INSTALACION DE UNA ESTACION

CONSIDERACIONES GENERALES

El Hidrólogo debe seleccionar de todos los sitios posibles a lo largo de la extensión de la corriente, un lugar para la estación de aforos, en la localidad aproximada especificada en el análisis de la red. La selección del sitio de la estación debe establecerse de acuerdo con el propósito para el cual los niveles de aguas son coleccionados en base a consideraciones hidrológicas y morfológicas de la cuenca considerada, así como también condiciones administrativas, tales como la proximidad del sitio a los posibles observadores y de las facilidades de acceso.

CONSIDERACIONES HIDROLOGICAS

Según son usadas aquí, significan factores del campo de la geología, morfología e hidráulica de los canales abiertos que tienen influencia en la selección de un sitio para medir el nivel del agua.

Las consideraciones geológicas son pertinentes al régimen del flujo bajo de una corriente, en la localización de secciones de control convenientes, en la selección del sitio donde el rendimiento de la hoya puede ser medido como flujo de corriente superficial, y en la selección de las formaciones con características favorables para soportar las estructuras de la estación.

Materiales impermeables con una resistencia al flujo de agua mayor que las formaciones circundantes puede, si está adecuada-

mente alineado por la naturaleza, crear buenas secciones de control.

Los perfiles del suelo en la sección donde se va a situar la estación deberán examinarse, esto es en el sentido de la estabilidad de las estructuras. De vez en cuando las formaciones que componen los bancos y los lados de los valles están sujetos a movimientos por la gravedad o por cargas eventuales. Estos movimientos pueden ser lentos o rápidos. Las estructuras contruídas sobre estos materiales que están sujetos a deslizamientos, pueden resultar dañadas exigiendo costosas reparaciones.

Otro punto importante, es la Morfología, el estudio de las formas de la tierra, es una consideración importante en la selección del sitio. En realidad la mayoría de las estaciones están construidas sobre extensiones donde se depositan los materiales que arrastran los ríos, o sea, los aluviones.

Las secciones tomadas a través de los valles de corrientes aluviales, muestran un gran espesor de material que fue depositado por la corriente para formar el valle y el lecho del río. En el estudio de los procesos por los cuales una corriente forma su zona de inundación, y el mantenimiento de esta zona en aguas bajas del río, se ha determinado que las relaciones siguientes son importantes en la selección de un sitio a lo largo del cauce.

a) Como promedio, una corriente usa su área de inundación alrededor de una vez por año.

b) El alineamiento del canal en aguas bajas puede ser recto, bifurcado o en meandros.

c) Excluyendo los cambios climáticos, tectónicos y hechos por el hombre en la cuenca de drenaje, la zona de inundación cambiará de elevación suavemente a través de un largo período.

d) Los cambios en las aguas bajas del río resultan del socabado de la orilla en el lado convexo de los meandros.

e) Los principios anteriores pueden ser usadas para la escogencia del sitio de la estación en una corriente aluvial.

La condición ideal de un sitio para una estación, es una en la cual la relación entre el nivel de agua y descarga permanezca constante.

Los criterios para la selección del sitio que den relaciones óptimas de nivel-descarga pueden resumirse así:

a) Un tramo recto del río tal que, el flujo que pase por la estación tenga una distribución aproximada de velocidades en la sección transversal.

b) No haya remanso debido a ríos tributarios o estructuras situadas en las proximidades.

c) El nivel debe estar regido por una sección de control permanente cercana.

d) Las mediciones directas de descarga o velocidad deben ser hechas en el sitio.

CONSIDERACIONES ADMINISTRATIVAS

Todas las consideraciones no técnicas que incurren en la selección de un sitio deseable están brevemente discutidas aquí; por ejemplo:

a) proximidad del sitio para el observador

b) facilidad de acceso por una carretera

c) costos de instalación y mantenimiento

d) facilidad de obtener energía eléctrica y líneas de comunicación

INSTALACION DE UNA ESTACION
CABLE - CANASTILLA, -

Para la instalación de una estación Cable-Canastilla se toman en consideración los siguientes puntos:

- a) Topográficos
- b) Hidrológicos
- c) Estructurales
- d) Instrumentales
- e) Administrativos

CONSIDERACIONES TOPOGRAFICAS

Para satisfacer dichas consideraciones se hace primero un reconocimiento general de la topografía del cauce, ya sea en base a cartas existentes ricas en detalles, como curvas de nivel, accesos, etc., y mediante una inspección del cauce con el objeto de escoger la sección de aforos.

Una vez seleccionado el sitio se hace un levantamiento topográfico en el cual se señalan curvas de nivel, detalles de la sección y donde se pueda ver el área del sitio.

Se da un ejemplo de ubicación del sitio de una estación instalada por la División de Hidrología del I.N.O.S.

CONSIDERACIONES HIDROLOGICAS

Tienen importancia aqui el Nivel de Aguas Máximas, este puede ser encontrado ya sea por alguna información de registros que posea la oficina, o en base a huellas dejadas por el paso de crecientes (aca-

reos de material, socavamiento de los bordes, depósitos de basura en los bordes etc.) También se puede estimar el nivel por consultas de los vecinos al sitio de aforos. Se podría tomar como condición hidrológica el acarreo de obstáculos que son derribados por el paso de las crecientes o tormentas; para tomar esta altura de seguridad se hace una inspección del sitio y se observa la clase de árboles u otros obstáculos que hayan en las márgenes del río, aguas arriba de la estación, se puede tomar 1.50 mts. sobre las aguas máximas como medida de seguridad. Aunque esto repercute en el costo de instalación, a la larga puede ser un factor de medida de protección a la inversión, ya que evitaría daños por obstáculos de alguna avenida no prevista.

Otra consideración hidrológica que cuenta es el ancho del cauce, que tiene decisión en la separación de las torres del cable.

CONSIDERACIONES ESTRUCTURALES

En las consideraciones estructurales cuentan las torres con sus características de altura y rigidez. Es práctico poseer torres de varias alturas para la mejor adaptación topográfica ya que pueden presentarse combinaciones con el objeto de alcanzar el nivel calculado, por lo general, se construyen los tamaños de 9, 12, 16 y 18 pies de altura.

Se hacen así por condiciones económicas y con el objeto de ahorrar trabajo.

Estas torres estructurales mantienen su estabilidad mediante unas bases de concreto armado sobre las cuales descansan las patas de la torre, y mediante un "muerto", que es también de concreto armado,

tiene dimensiones de acuerdo al suelo donde descansa.

El "muerto" tiene una barra para anclar la torre mediante un cable llamado de "viento".

Algunas estaciones no requieren de estas torres estructurales, pues de acuerdo a las condiciones topográficas del cauce, pueden ser sustituidas mediante " muertos" que estarían instalados en las paredes de dicho cauce.

Otro punto contemplado en las condiciones estructurales es el cable, pues debe considerarse la luz de una torre a otra, al peso que ha de soportar, por lo general, es el peso propio, el de la canastilla, el del aforador con sus instrumentos y su ayudante, como también las cargas de viento. Todas las anteriores fuerzas sirven para calcular la flecha. Para determinarla puede emplearse la fórmula o bien un monograma que se adjunta.

En las tablas 1 y 2 se muestran los pesos por metro para varios diámetros de cable de acero arado galvanizado 6 x 7 y de cable galvanizado lizo enrollado (funicular) que pueden ser usados en el diseño de cables de aforos.

Tabla N° 1

Peso por metro, área de la sección y esfuerzo de ruptura del cable de acero de arado galvanizado 6 x 7 para el 6 x 19 añadir el 7% al peso y 6% al esfuerzo.

Diámetro en Pulgada. -	Peso aprox. Kg/Ml.	Area neta de la sec. pulg. ²	Esfuerzo a la ruptura (con reducción del 10% P. galv.)		
			Acero de Arado mejorado Kg.	Acero de arado Kg.	Acero de arado por bre Kg.
3/4	1,250	0,125	18,506	16,148	14,016
7/8	1,711	0,294	25,038	21,772	18,915
1	2,232	0,380	32,386	28,168	24,494
1 1/8	2,827	0,484	40,642	35,335	30,753
1 1/4	3,482	0,596	49,804	42,272	37,648

Tabla N° 2

Esfuerzos de ruptura para el diseño, en cables de acero galvanizado redondo. peso por metro y área de la sección. -

Diámetro Pulgadas	Cantidad de alambre en cada haz.	Peso aprox. por metro. Kgr.	Area de la sección pulg. ²	Esfuerzo de ruptura con reducción 10% por galv.	
				Esfuerzo extra alto. Kg.	Esfuerzo alto. Kg.
3/4	19	1,845	0,301	26,535	22,543
7/8	19	2,515	0,438	36,242	30,708
1	19	3,274	0,576	47,355	40,188
1 1/8	37	4,018	0,723	57,742	48,988
1 1/4	37	4,806	0,897	69,082	58,604
1 3/8	37	5,967	1,081	85,728	72,484
1 1/2	37	7,261	1,292	104,099	88,495

NOTA:

Los valores del esfuerzo a la ruptura y peso por metros de cable contenidos en la tabla N° 1 son los dados por el National Bureau of standards (ENA) Wire Simplified Practice recommendation R. 198 pag. N°1 tabla N° 1. -

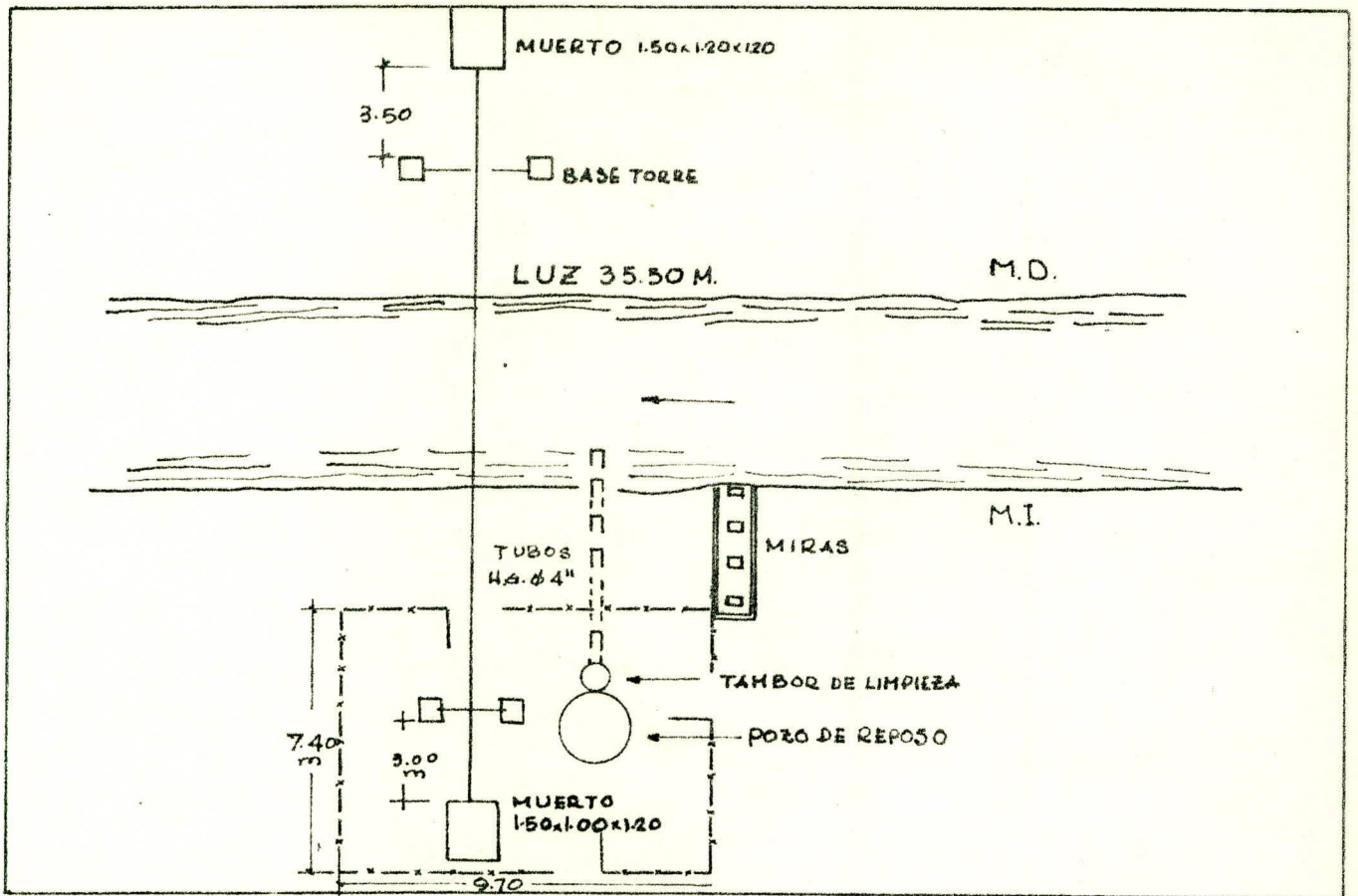
Los mismos valores anteriores para el tipo galvanizado redondo no han sido estandarizados oficialmente, siendo los valores dados en la tabla N° 2 los que se usan generalmente.

Como esfuerzo de diseño para el cable señalado en la tabla N° 1, o sea de acero arado galvanizado se toma $1/6$ del esfuerzo de ruptura y $1/4$ para los otros tipos de cable.

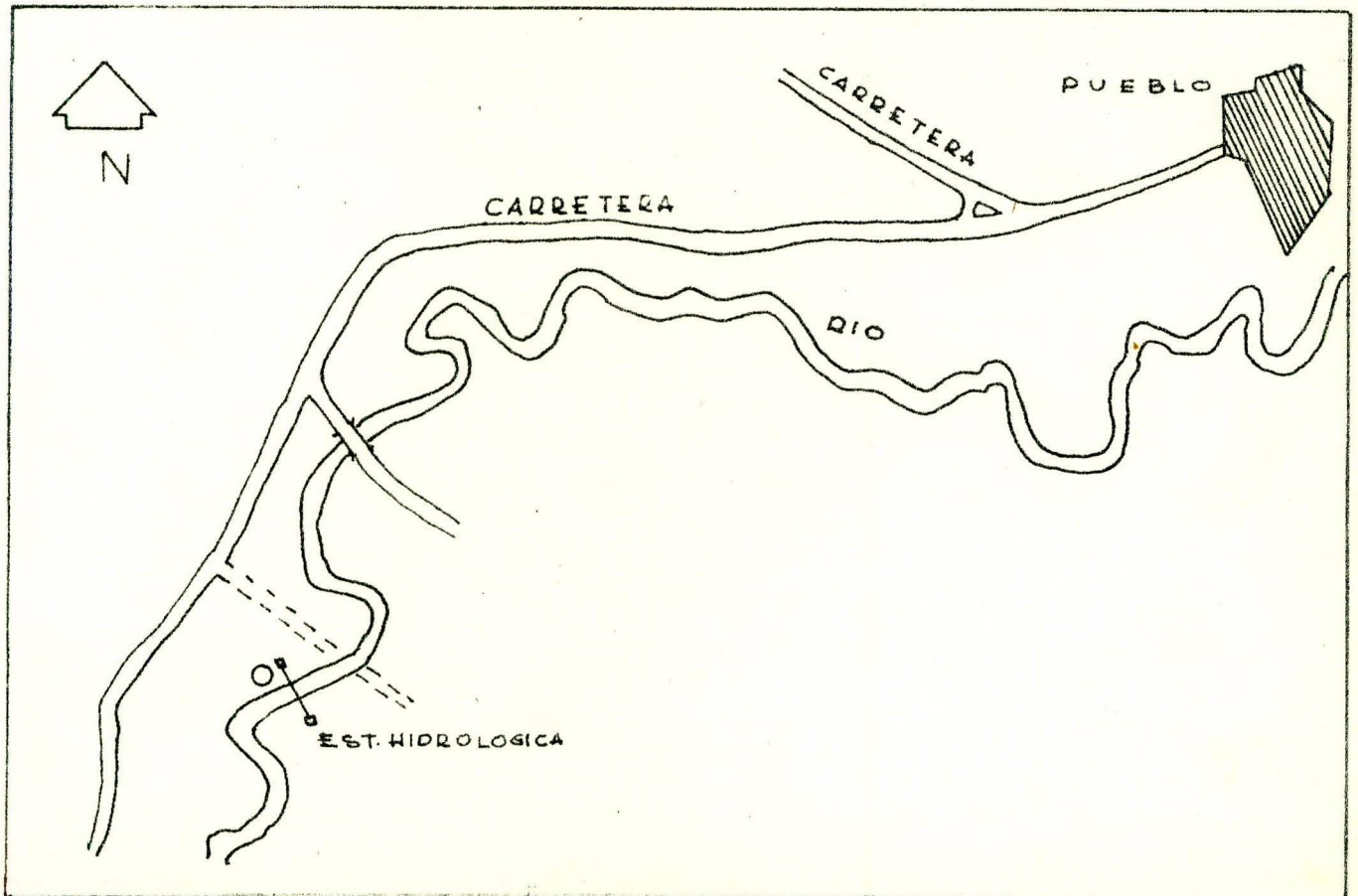
Como norma no se usan cables de aforo menores de $3/4$ por las siguientes razones: 1. - que se necesita mucha flecha para tramos cortos y 2. - porque la corrosión será mayor.

Generalmente un cable consta de mazos o haces, cada uno de los cuales se compone de un número determinado de hilos, el número de estos en un haz varía pudiendo ser de 7, 19 ó 37. El cable más usado en aforos es el de 19 hilos con alma de cáñamo para darle mayor flexibilidad.

CROQUIS DEL TRAMO DE AFOROS Y SUS INSTALACIONES



CROQUIS DE UBICACION DEL TRAMO DE AFOROS



Todas las consideraciones anteriores son tomadas en cuenta en el cómputo para la estación, que a continuación determinamos con un ejemplo:

Dimensión	Nivel	Observaciones
1.500	99,220	Nivel de aguas máximas Altura de seguridad entre aguas máximas y base - canastilla.
	100,720	Nivel de seguridad
1.500	102,222	Altura del carrito canastilla
1.000		Nivel punto bajo del cable
		Flecha del cable con \varnothing 3/4" y 6 x 19 para L= 35,50 m.
	103,220	Nivel extremo superior de la torre
2,740		Altura de la torre de la margen derecha.
	100,480	Nivel base de la torre M. D.
	100,500	Nivel del terreno
0,02		La torre M. D. queda 2 cm. bajo el terreno.
	103,220	Nivel extremo superior de la torre M. I.
3,65		Altura de la Torre
	99,570	Nivel superior, base de torre M. I.
	99,128	Nivel del terreno
0,442		Pantalón para la torre M. I.

CONSIDERACIONES INSTRUMENTALES

En la medición de velocidades de una corriente el aparato más usado es el correntímetro o molinete, del cual se hablará someramente.

Los molinetes o correntímetros. Se llaman molinetes hidráulicos los que se destinan a medir la velocidad de la corriente del agua, en la que están sumergidos y son instrumentos muy utilizados en la actualidad para la realización de aforos directos en canales y ríos.

El fundamento que utilizan los molinetes para el cumplimiento de su función es que el movimiento de la corriente haga girar el eje a través de una hélice o sistema análogo. De estar el aparato correctamente colocado en el seno de la corriente, mientras la velocidad de la misma permanezca constante, se tendrá una relación unívoca con la de los filetes líquidos, o sea, que si podemos medir la velocidad "n" de rotación del eje, podemos mediante una fórmula conocer la velocidad "v" de las aguas en la zona donde está colocado el aparato. La velocidad del molinete se mide a través de un circuito eléctrico para permitir así salvar la distancia del observador al aparato y la inaccesibilidad del mismo en la mayoría de los casos.

Si se conoce la ley $v = f(n)$ para cada valor "n" que se obtenga, se deduce inmediatamente el valor de la velocidad "v" de las aguas.

CLASES DE MOLINETES

En realidad todos los molinetes son bastante semejantes, pero, no obstante, podemos clasificarlos de la siguiente forma:

1. - Por el modo de situarlos en su posición

Con arreglo al modo de ser empleados, al hablar de la ejecución de los aforos, podemos tratar escuétamente los sistemas fundamentales:

a) Molinetes de soporte fijo

En este caso, el aparato va sujeto a un sistema de barras al cual pueden acoplarse a distintas alturas mediante un tornillo prisionero.

b) Molinetes suspendidos

El molinete en estas condiciones quedará pendiente de un cable que el operador sostiene desde el sistema en el cual se encuentre.

2. - Por transmisión del movimiento al interruptor

Con arreglo a la transmisión del movimiento del eje de la hélice al árbol de leva y platinos, los molinetes pueden clasificarse en transmisión mecánica y transmisión magnética.

a) Transmisión mecánica.

Son los más normalmente usados, generalmente el eje de la hélice acciona a través de un tornillo sin fin una corona situada en el eje, perpendicular a ella, que gira siempre a una velocidad moderada y conveniente para el árbol de leva, con su apertura y cierre de platinos.

Este sistema de molinete es el más usado hoy en día, pues con elementales precauciones de conservación, puede tener una duración casi indefinida.

b) Transmisión magnética.

Estos molinetes son construidos especialmente para grandes profundidades. Este sistema no está muy en uso, porque los molinetes -

de transmisión mecánica han logrado una perfección en su fabricación para vencer todos los inconvenientes.

3. - Por el sistema propulsor

Los molinetes también pueden ser divididos en dos tipos, si nos atenemos al sistema empleado para captar el movimiento de las aguas, que puede ser mediante una hélice o una rueda con cazoletas.

a) Molinetes de hélice

El sistema de hélice está grandemente generalizado más que ningún otro a captar el movimiento de un filete de la corriente en forma de un cilindro de revolución de eje paralelo al movimiento y radio tan pequeño como puedan ser las aletas lo que significa dimensiones muy exiguas, que nos sitúan en las posibilidades de máxima coincidencia con el planteamiento teórico.

b) Molinete de cazoletas.

El sistema motriz está constituido por una rueda con cazoletas análogas a la de un anemómetro, la cual gira alrededor de un eje vertical, el radio de giro es bastante corto, pues la distancia entre los centros de las cazoletas son mínimos, del orden de 3 veces su radio.

La ventaja de estos molinetes es que eliminan con eficacia los errores ocasionados por desviaciones laterales de las líneas de corriente, puesto que no es preciso orientar el aparato que, por su simetría respecto a cualquier radio, siempre está en posición adecuada.

Nos queda por referirnos a la instalación del pozo y los tubos de comunicación del río. Este tipo de estación consiste en el empleo de

un pozo, que lo práctico generalmente es de tubos ondulados tipo "Armco" de diámetro de 1.20 m. Dentro de este pozo, en la parte superior, está instalado el limnógrafo que registra las variaciones de nivel que suceden en el río; este pozo está comunicado con el río por medio de tubos de diámetro de 4" y espaciados los dos primeros a 50 cm, empezando el conteo desde abajo, y los siguientes a 1 m.

En la forma actual como se construyen estas estaciones en el país presenta inconvenientes en cuanto al registro de las fluctuaciones de los niveles del río, ya que los instrumentos registradores acusan picos de avenidas con retardos, esto dió motivo a un estudio más profundos en base a distintos diseños de pozos y sistemas de comunicaciones con el río, los cuales fueron probados en el Laboratorio Hidráulico del Instituto Nacional de Obras Sanitarias. Pero antes, es necesario definir lo que es un modelo y el Número de Froude.

Se define como modelo al sistema cuyo funcionamiento permita predecir las características de otro similar que operara en condiciones reales.

Número de Froude es la relación que existe entre las fuerzas inerciales y la fuerza de gravedad.

CONSTRUCCION DE MODELOS HIDRAULICOS

Con la esperanza de encontrar un mejor diseño en la relación del pozo de reposo y sistemas de comunicación con el río. Se construyeron tres modelos hidráulicos, estos se instalaron en un canal del Laboratorio Hidráulico del I.N.O.S., (ver fotografías). -

Todos los materiales usados en la construcción de los modelos son diferentes a los usados en la realidad, se hizo así por la facilidad de obtener estos. Las condiciones del canal son diferentes a las que se pueden conseguir en un río cualquiera, pero como en todo modelo, casi nunca se tienen todas las condiciones naturales.

PRIMER MODELO

Para la construcción del primer modelo se utilizó un tubo de plástico de 3.5" de diámetro o de 1.20 m en escala 1/20, con la cual se trabajó. Este tubo dispuesto en posición vertical hace las veces de pozo de reposo, un sistema de comunicación al canal que consiste en una canalleta de plástico con un ancho de 0.50 m y un largo de 4m. en dicha escala.

SEGUNDO MODELO

En la construcción del segundo modelo se utilizó, también un tubo de plástico de 3.5" de diámetro o sea 1.20 m. en escala 1/20 y un sistema de comunicación con el canal que consiste en una serie de 4 tubos de 14 cm. de diámetro en dicha escala; existe una separación vertical entre los tubos, entre el más bajo y el siguiente de 0.50 m. y los otros espaciados verticalmente a 1 metro.

Este modelo en su relación de pozo de reposo y tubos de comunicación es a semejanza de las estaciones de registros actuales.

TERCER MODELO

Por último, para la construcción del modelo N° 3 se utilizaron los mismos materiales, con la única diferencia que los tubos de co-

municación son de 30 cm. de diámetro, estos tubos en número de tres están separados verticalmente a una distancia de 1 metro.

La separación que existe entre el modelo N° 1, que es el de la canaleta como sistema de comunicación, y el modelo N° 2, que tiene tubos de 14 cm. hay una distancia de 1.10 m. la distancia que existe entre el modelo N° 2 y el N° 3, que consta de tubos de 30 cm. como sistema de comunicación, hay una distancia de 1.60 m. Se tomaron estas distancias para que una estación no perturbara el flujo aguas abajo de la otra estación.

Estas construcciones se hicieron con la ayuda y supervisión del Profesor - Guía José L. Pérez Machado, el asesoramiento del Dr. Rafael Convit y del Hidr° Emerson Romero, así como la colaboración espontánea del personal técnico y obrero del Laboratorio Hidráulico del I.N.O.S. . -

ENSAYOS EN LOS MODELOS

Al inicio de estos ensayos se trabajó con limnógrafos, marca SIAP proporcionados por la División de Hidrología del I.N.O.S. - Se tuvo que buscar unos flotadores con sus respectivos contrapesos para que pudieran funcionar en el modelo, se presentaron las siguientes dificultades.

1. - Estos aparatos, a pesar de su adaptación de registro diario, caminaban muy lento, por lo que se perdía mucho tiempo en observaciones y las variaciones de nivel muy rápidas no quedaban bien definidas.

2. - Se observó que en estos instrumentos, había mucha fricción entre el tornillo sinfin, la plumilla y la polea transmisora, por lo que se perdían cambios de niveles que no se registraban, dado a que no se movían por el empuje del pequeño flotador.

3. - Se tuvo el problema que el mecanismo de relojería de los aparatos no caminaban iguales.

4. - Se encontró la dificultad de que no se tenía una medida para comparar los distintos registros que se nos daban las diferentes modelos.

En consecuencia, se abandonó este sistema de trabajo. No obstante, se adjuntan las gráficas obtenidas en cada uno de los modelos, se observa que hay alguna divergencia en los gráficos de altura contra tiempo.

Se optó por obtener registros con un medidor de variaciones de nivel, marca Hewlett-Packard que posee el Laboratorio Hidráulico.

lico del I. N. O. S. . -

Se dará una breve descripción de este aparato en atención a la ayuda que nos prestó. Este medidor consiste en un par de agujas metálicas que en contacto con el agua varía su capacidad eléctrica y transmite una señal correspondiente al nivel del agua, la cual es recogida por el aparato registrador y revelada en forma de impresión en un papel móvil que este posee.

Las señales pueden ser reguladas de acuerdo a la amplitud que se desée, lo mismo la velocidad del papel, de acuerdo a la gama de valores indicados en el aparato.

El aparato tiene 8 dispositivos para adaptar 8 pares de agujas pero solo se usaron 6.

En el nuevo método de trabajo se optó por usar dos pares de agujas por cada estación, uno que registra, por decirlo así, las variaciones de nivel en el canal, y el otro las de la estación. Las agujas que registran las variaciones de nivel en el canal están en las proximidades de la estación. Se tomó esta táctica con el objeto de poder comparar las dos gráficas, canal y modelo, así poder sacar conclusiones cualitativas y numéricas.

Análisis cualitativo de las gráficas. -

MODELO N° 1. -

Este modelo consta de un pozo de reposo de 1.20 de diámetro comunicado con el canal por una canaleta de 50 cm. de ancho y 4 m. de longitud en escala 1/20. Comparando las gráficas del canal y la del mo-

delo, se observó lo siguiente:

1. - El oleaje a simple vista es considerable
2. - Al hacer variar el caudal, por medio de una válvula, reaccionan simultáneamente canal y modelo, dando dos gráficas semejantes.

MODELO N° 2. -

En este modelo con tubos de comunicación de 14 cm. de diámetro y 4 m. de largo en escala 1/20 se le construyó un pozo igual al modelo N° 1. Al establecer comparaciones entre las dos gráficas se observa:

1. - Tiene un oleaje nulo
2. - Los cambios son suaves en el modelo y bruscos en el canal.
3. - Se han observado tiempos de retardo de 10 seg. que en el proto tipo representan:

$T_p = 44.7$ seg. de retardo (más adelante se explicará esta relación)

MODELO N° 3. -

Este modelo tiene los tubos de comunicación con el canal de 0.30 cm. de diámetro y 4.00 metros de longitud (escala 1 /20). El diámetro del pozo es igual a los anteriores. Comparando las dos gráficas se observa:

1. - Acusa un oleaje nulo
2. - Las variaciones en las gráficas correspondientes al modelo son semejantes a las correspondientes en el canal.

Posée una sensibilidad considerable, ya que el paso de una pequeña honda quedó registrada en ambas gráficas, aunque con un pequeño retardo en la gráfica correspondiente al modelo.

Seguidamente, se hizo un ensayo con tubos cortados al ras de la pared del canal, a sabiendas que este ensayo no tiene valor práctico, pero sí hidráulico, y nada más con la intención de comparar las gráficas resultantes.

ANALISIS DE LAS GRAFICAS

En el modelo N° 1 se observa:

1. - Que tiene un abundante oleaje, que se podría anular diseñando a propósito una estructura hidráulica.
2. - Se observa que tiene una respuesta inmediata cuando cambian niveles.

En el modelo N° 2 se destaca lo siguiente:

1. - Que tiene un oleaje nulo
2. - Que las gráficas de registro de niveles entre el canal y la estación no son semejantes, se han observado tiempos de retardo de 10 seg. que equivale a 44.6 seg. (por la relación de Froude)

En la estación N° 3 observamos:

1. - Carece de oleaje
2. - Las gráficas de los registros son semejantes, es decir entre la estación y el canal.

3. - La estación posee una gran sensibilidad. Se observó el paso de una honda que quedó registrada tanto en la gráfica de niveles del canal como en el de la estación.

ANALISIS NUMERICO O CUANTITATIVO

Es conveniente explicar la relación de tiempo con el prototipo y el modelo derivado en la relación de Froude. El Número de Froude se usa como la base del diseño e interpretación de modelos, en aquellos en los cuales las fuerzas de fricción son despreciables.

Las relaciones fundamentales para modelos estructurales están basadas en la ley de Froude. Para nuestro caso solo usaremos la relación de longitud y tiempo.

Deducción de relación de tiempo y longitud en base al Número de Froude.

Se tiene el número Froude. $F = \frac{V}{\sqrt{gL}}$

Por la condición de semejanza hidrodinámica se tiene:

$$\frac{V_m}{\sqrt{g L_m}} = \frac{V_p}{\sqrt{g L_p}}$$

V= velocidad

L= Longitud

Q= Aceleración de la fuerza de gravedad

t= Tiempo

m y p= modelo y proto tipo

$$\frac{V_m}{V_p} = \frac{\sqrt{L_m}}{\sqrt{L_p}} \quad 1) \quad \text{pero} \quad V_m = \frac{L_m}{t_m} \quad 2) \quad \text{y} \quad V_p = \frac{L_p}{t_p} \quad 3)$$

introduciendo 2 y 3 en 1 tenemos que

$$\frac{t_m}{t_p} \frac{l_p}{l_m} = \frac{1}{\left(\frac{l_m}{l_p}\right)^{1/2}}$$

$$\frac{t_m}{t_p} = \left(\frac{l_m}{l_p}\right)^{1/2} ; t_p = \frac{t_m}{\left(\frac{l_m}{l_p}\right)^{1/2}}$$

$$t_p = t_m = 4,47 \frac{t_m}{\left(\frac{l_m}{20}\right)^{1/2}}$$

Donde se ve que la elección de escala de longitudes fija la otra.

Se tuvo que hacer correcciones en las distintas gráficas de las estaciones debido a que se trabajó con agujas diferentes. Se procedió a hacerlas de la siguiente manera:

Se mantuvo el caudal del canal a una altura constante, se hizo una lectura en la estación y la otra lectura en el canal, tomadas ambas de las gráficas. Se consideró la del canal como verdadera, (lectura del canal-Lectura de la estación), esta desviación, como aparece en el ejemplo, se sumó o se restó a la altura de la estación primeramente leída.

Se hicieron dos lecturas una al inicio de la creciente y otra al final de la misma.

En el modelo N° 1. -

Antes de iniciarse la creciente

En la estación = 0.18 m Diferencia (canal-estación)
= 0.10 m

En el canal = 0.28 m

Después de la creciente

En la estación = 0.08 m Diferencia (canal-estación) = 0.08 m

Canal = 0.16 m.

$$\text{Corrección} = \frac{0.10 + 0.08}{2} = 0.09 \text{ m.}$$

En el modelo N° 2

Antes de iniciarse la creciente

En la estación = 0.28 m. Diferencia (canal-estación) = 0.08 m.

En el canal = 0.20 m

Después de la creciente

En la estación = 0.17 m. Diferencia (canal-estación) = 0.09 m.

En el canal = 0.08 m.

$$\text{Corrección} = \frac{0.08 + 0.09}{2} = 0.085 = 0.09 \text{ m.}$$

En el modelo N° 3. -

Antes de iniciarse la creciente

En la estación = 0.26 m. Diferencia (canal-estación) = 0.04 m.

En el canal = 0.30 m.

Después de la creciente

En la estación = 0.14 m. Diferencia (canal-estación) = 0.04 m.

En el canal = 0.18 m.

$$\text{Corrección} = \frac{0.04 + 0.04}{2} = 0.04 \text{ m.}$$

Modelo Estación N° 1.

tiempo modelo seg.	tiempo prototipo seg.	H. en estac. n.	H. en canal m.	H. en estac. corregida m.	Desviación
0	0	0.19	0.30	0.28	0.02
10	44.7	0.30	0.40	0.39	0.01
20	89.4	0.43	0.54	0.52	0.02
30	134.1	0.54	0.64	0.63	0.01
40	177.8	0.62	0.72	0.71	0.01
50	223.5	0.62	0.68	0.71	-0.03
60	268.2	0.42	0.50	0.51	-0.01
70	312.9	0.30	0.40	0.39	0.01
80	357.6	0.23	0.33	0.32	0.01
90	402.3	0.19	0.29	0.28	0.01
100	447.0	0.14	0.24	0.23	0.01
110.	491.7	0.12	0.20	0.21	-0.01

Modelo Estación N° 2. -

tiempo modelo seg.	tiempo prototipo seg.	H. en estac. m.	H. en canal m.	H. en estac. corregida m.	Desviación
0	0	0.28	0.20	0.19	0.01
10	44.7	0.32	0.32	0.23	0.09
20	89.4	0.41	0.44	0.32	0.12
30	134.1	0.50	0.50	0.41	0.09
40	177.8	0.58	0.56	0.49	0.07
50	223.5	0.62	0.58	0.53	0.05
60	268.2	0.54	0.42	0.45	-0.03
70	312.9	0.43	0.32	0.34	-0.02
80	357.6	0.34	0.25	0.25	0.00
90	402.3	0.29	0.20	0.20	0.00
100	447.0	0.26	0.16	0.17	0.00
110	491.7	0.21	0.12	0.12	0.00

Modelo Estación N° 3. -

tiempo modelo seg.	tiempo prototipo seg.	H. en estac. m.	H. en canl m.	H. en estac. rrecogida m.	Desviación
0	0	0.25	0.30	0.29	0.01
10	44.7	0.32	0.38	0.36	0.02
20	89.4	0.44	0.50	0.48	0.02
30	134.1	0.56	0.60	0.60	0.00
40	177.8	0.63	0.67	0.67	0.00
50	223.5	0.67	0.68	0.71	-0.03
60	268.2	0.56	0.52	0.60	-0.08
70	312.9	0.43	0.42	0.47	-0.05
80	357.6	0.33	0.34	0.37	-0.03
90	402.3	0.27	0.30	0.31	-0.01
100	447.0	0.23	0.25	0.27	-0.02
110	491.7	0.18	0.22	0.22	0.00

OBSERVACIONES

En los resultados numéricos se observa que entre los 40 y 50 seg. de los modelos las mayores desviaciones se notan en el modelo N° 2 y permaneciendo casi iguales en los modelos N° 1 y 3. -

SISTEMA DE LIMPIEZA

Como las aguas en los ríos no son siempre limpias ya que llevan sedimentos en suspensión, basuras u otros materiales, que son captados por los tubos de comunicación de la estación; este material se acumula en los tubos y termina por obstruirlos y de ahí el mal funcionamiento de la estación. Para la solución de este problema se ha ideado un sistema de limpieza que consiste en un tambor colocado al nivel del limnógrafo fuera del pozo de reposo, este está en comunicación por medio de unos tubos verticales, con los tubos de comunicación del río. Cuando se quiere efectuar la operación de limpieza se cierran las entradas a los tubos y solo se deja abierto el obstruido. Esta operación es efectuada por diferencia de alturas entre el tubo a limpiar y el tambor, de esta manera es desalojado el sedimento o basura que exista en el tubo de comunicación.

CONTROL

Se entiende en Hidrología por control artificial, a una estructura de concreto ciclopeo, la cual se construye a lo ancho de la corriente con objeto de mantener estable la relación altura de mira-gasto.

Para que los resultados sean efectivos, la estructura de control debe tener una altura suficiente para estabilizar la relación en cualquier estado del río con objeto de tener bastante precisión para aguas bajas; algunos controles poseen vertederos para determinar con exactitud gastos pequeños, ya que un vertedero representa un control artificial donde permanece estable la relación a que hemos hecho referencia para poder determi-

nar una función entre las dos variables gasto-altura de mira, dando por resultado las conocidas fórmulas para vertederos.

Cualquier control tiende a disminuir la velocidad aguas atrás de él y a incrementarla aguas abajo e inmediatamente a él, por lo cual se deben tomar algunas precauciones para que no resulte la parte aguas abajo socavada por la erosión, se disminuye la erosión mediante la construcción de un lecho amortiguador aguas abajo, que junto con el muro forman la estructura de control, así mismo, el control debe extenderse hacia las margenes del río, y su lecho debe ser impermeabilizado en el espacio donde se encuentra, para evitar el flujo por debajo y que la subsunción lo haga fallar.

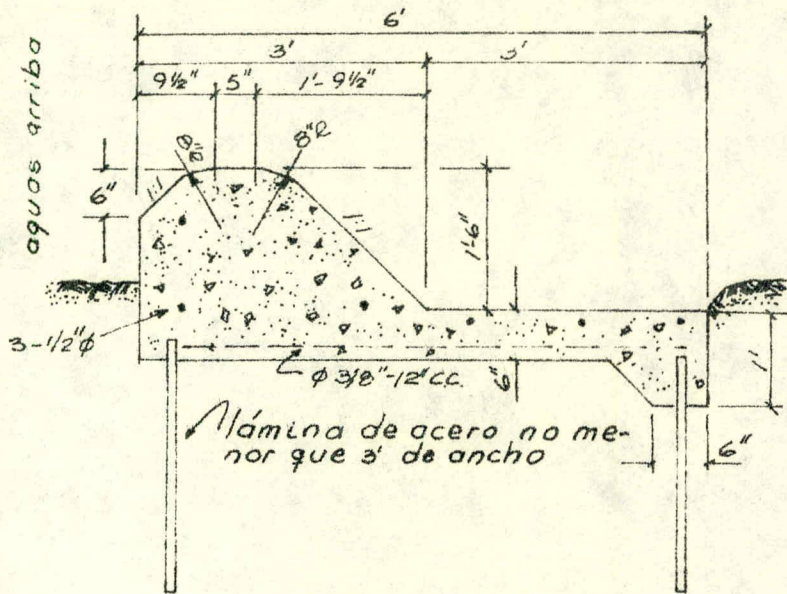
Se adjunta un diseño de control tomada de United State Geological survey water Resource Branch.

MIRAS

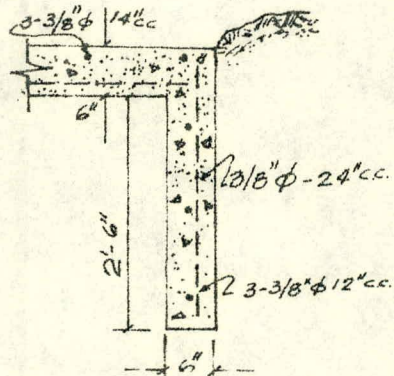
En el pozo de reposo unicamente se tienen variaciones de nivel, que quedan registradas en la hoya del linmígrafo. Para tener un nivel de referencia se valió de un sistema de medidor denominado miras las cuales en conjunto tienen un rango de variación de acuerdo con el altura que pueda alcanzar el río.

Estas miras graduadas estan apoyadas en reglas de madera o hierro, colocadas al lado de los tubos de comunicación del pozo de reposo, pueden ser verticales, estan asentadas sobre pilotes de concreto con el objeto de adquirir estabilidad, o siguiendo la pendiente del talud del

cauce, haciendo desde luego su reducción respectiva, para su anotación ver
tical.

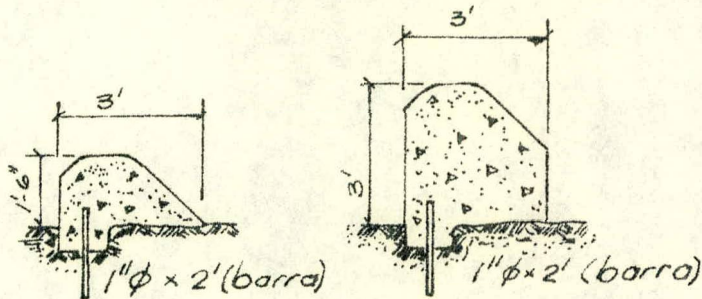


SECCION DEL CONTROL



DETALLE DELANTAL DE CONCRETO

delantal de concreto a ser instalado cuando la lamina de acero no puede ser usada



SECCIONES DEL CONTROL EN LECHO ROCOSO

cara del control aguas arriba



refuerzo a ser continuo

DETALLE DE LA JUNTA DE CONSTRUCCION

sello de cobre



refuerzo de acero discontinuo

DETALLE DE LA JUNTA DE CONTRACCION

PLANO DE LA ESTRUCTURA DEL CONTROL
U.S. Geological Survey

Consideraciones Administrativas

Como en todo diseño es un punto importante el de los costos, pues un buen diseño es aquel que tiene menos costos y que presta mejores beneficios. Precisamente en este trabajo no podria faltar el presupuesto en el diseño de una estación. Aunque este presupuesto puede variar, si puede dar una idea de sus costos. -

CONCEPTO	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO B ^s	COSTO TOTAL B ^s
4 Obreros	5 semanas a B ^s . 101,50 semanal diarios B ^s . 14,50	101,50	2.020,00
2 Obreros	2 semanas a B ^s . 101,50 semanal diarios B ^s . 14,50	101,50	404,00
Gastos de Vida	5 semanas al Maestro y Chofer semanal B ^s . 75,00	15,00	750,00
Gastos de Vida	Al Supervisor a razón de B ^s . 30,00 diarios semanal	150,00	750,00
Cemento	50 sacos de cemento a razón de.....	4,55	227,50
Estructura	7,90 mts. de conchas arco a razón de	169,70	1.340,63
Estruc. Caseta Metal	Elaboración en taller herreria caseta Met. limnig.	370,00	370,00
Materiales Construc.	25 cabillas de 1/2 a	5,00	125,00
"	" 4 tubos de 4 Ø sistema comunicación a razón de B ^s .	160,60	602,00
"	" 2 llaves de tubos de 4 Ø sistema de limpieza	139,50	378,00
"	" 2 tubos de 2 Ø sistema de limpieza a razón de B ^s .	40,00	80,00
"	" 2 llaves de 2 Ø " " "	25,00	50,00
"	" 2 tee de reducción de 2 x 4 " "	25,00	50,00
"	" 10 perros de 3/4 a razón de	2,25	22,50
"	" 16 perros de 1/2 a razón de	1,00	16,00
	2 guarda cabo de 3/4 a razón de	1,25	2,50
	2 guarda cabo de 1/2 a razón de	0,75	1,50
	1 torre de 12 pies	560,00	560,00
	1 torre de 9 pies	370,00	370,00
	1 carro de aforo completo Estruct. hierro y madera	700,00	700,00
	2 cabillas lisas de 3/4 a razón de	12,00	24,00
	3 kilos de alambre N° 18 a razón de	1,50	4,50
	4 kilos de clavos a razón de	2,00	8,00
	1/2 metro para encofrado estruc. a razón de	240,00	120,00
	2 barras para los muertos U-2	12,00	24,00

CONCEPTO	DESCRIPCION	COSTO UNITARIO B ^s	COSTO TOTAL B ^s	
Materiales de construcción	1 barra para los muertos U-1	12,00	12,00	
	1 escalera de cabilla lisa pozo limnígrafo	70,00	70,00	
	1 tanque de 100 litros sistema limpieza	70,00	70,00	
	4 camiones arena para estructura a razón de	60,00	240,00	
	1 camión de piedra para estruc. a razón de	60,00	60,00	
	1 1/2 galones de pintura a razón de	32,00	48,00	
	1 motón para a sistema limpieza fondos	14,00	14,00	
	1 Viga U para las miras	30,00	30,00	
	4 listones de madera de 1,00 metros miras	3,00	12,00	
	1 plancha prensada para plataforma limnígrafo	70,00	70,00	
	50 mts. de guaya de 3/4 para carro de aforo	5,00	250,00	
	20 mts. de guaya de 1/2	3,00	60,00	
	Aparatos	1 B-M	12,00	12,00
		4 miras de 1 m.	48,80	195,20
1 limnígrafo completo, guaya, flotante, poleas		1.450,00	1.450,00	
TOTAL COSTO			11.593,33	
10% de imprevisto			1.159,33	
TOTAL GENERAL.....			12.752,66	

CONCLUSIONES

Como se puede ver las mismas conclusiones se sacaron con los tubos cortados; como es lo ideal, pero para tener un diseño práctico ajustado a la realidad se dejan salidos de la pared del río.

Queda por concluir, por los análisis hechos, que la mejor relación de área de comunicación con el río y el pozo de reposo es la correspondiente al modelo N° 3, ya que esta tiene una gran sensibilidad y oleaje nulo.

En segundo lugar está la estación N° 1 que tiene un oleaje considerable, pero en un futuro se podría probar una estructura hidráulica que lo anulara, aunque queda posibilidad que los costos de la estación aumenten.

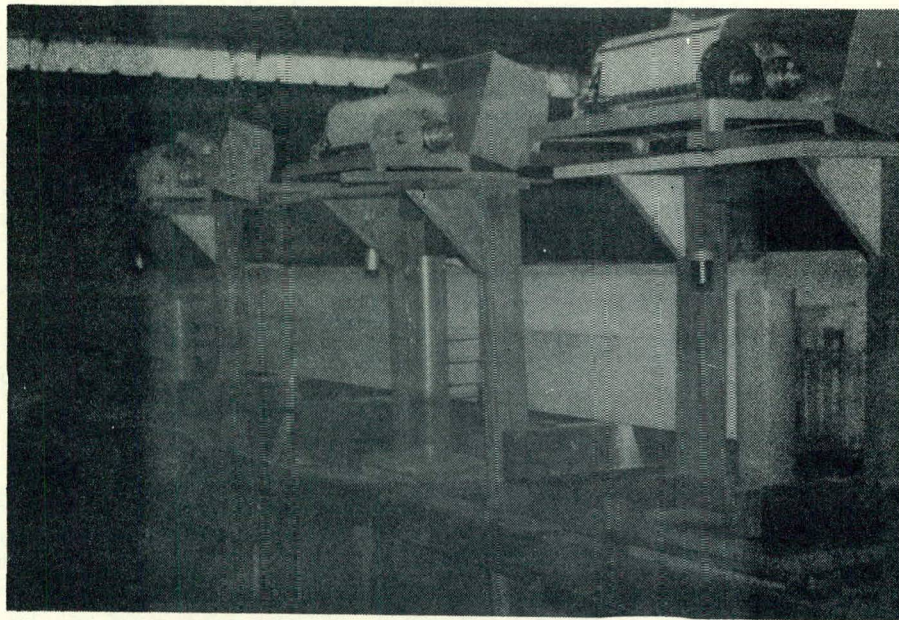
Por último, el modelo N° 2, que corresponde a las estaciones actuales, queda prácticamente descartada mediante estos ensayos.

BIBLIOGRAFIA.

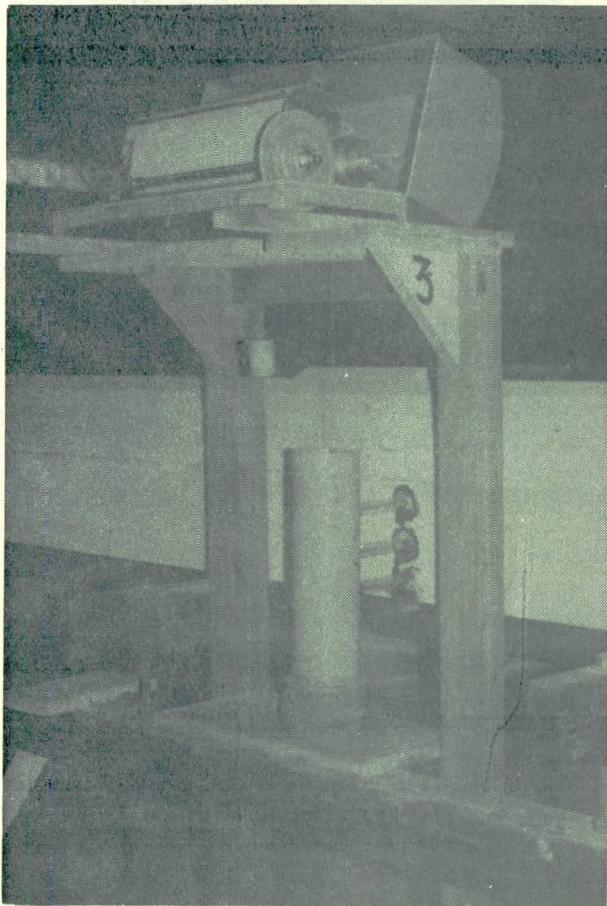
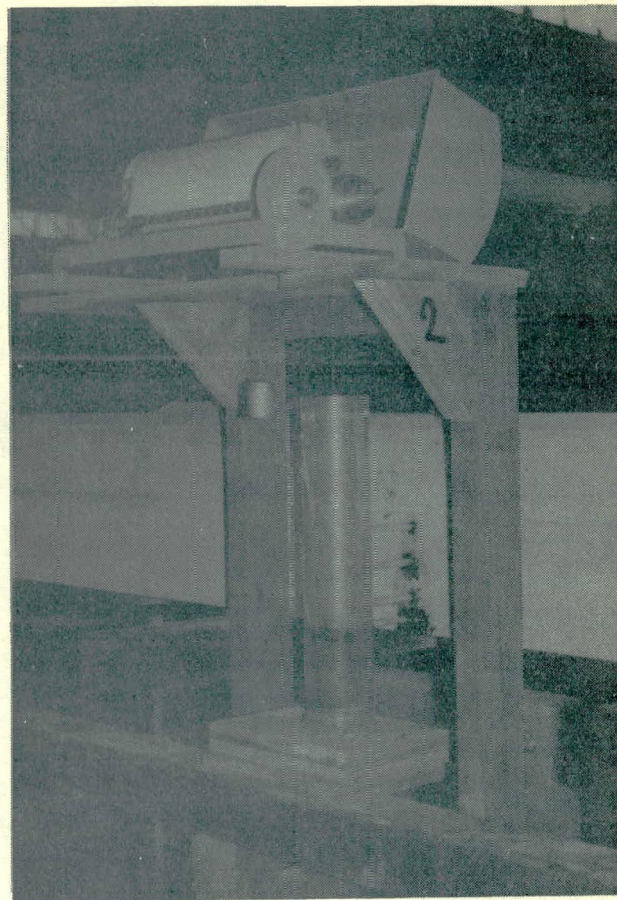
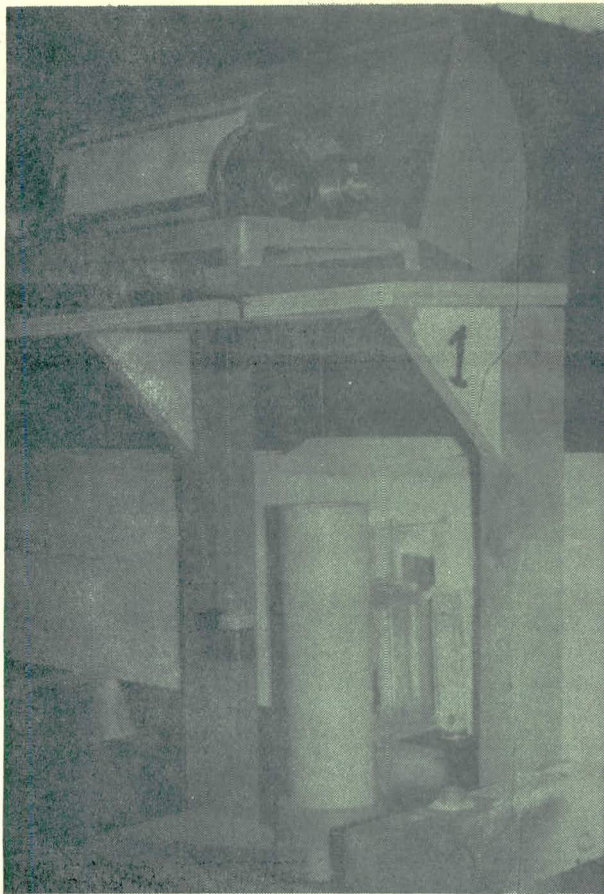
1. - Manual de Hidráulica - KING Y BRATER
2. - Hand book of Applied Hidraulics - VICTOR CALVIN
3. - Guía de prácticas Hidrometeorológicas - O.M.M.
4. - Instructivo para Aforo de corrientes - Secretaria de Recursos Hidráulicos México.
5. - Normas para instalación de Estaciones - I.N.O.S.
6. - Field Methods and Equipmet - used in hidrologg and hidrometeorologg - O.N.U.
7. - Stage Measurements at Gaging Stations - R.W. Carter
8. - Procedures for currents Meter Measurements - R.W. Carter



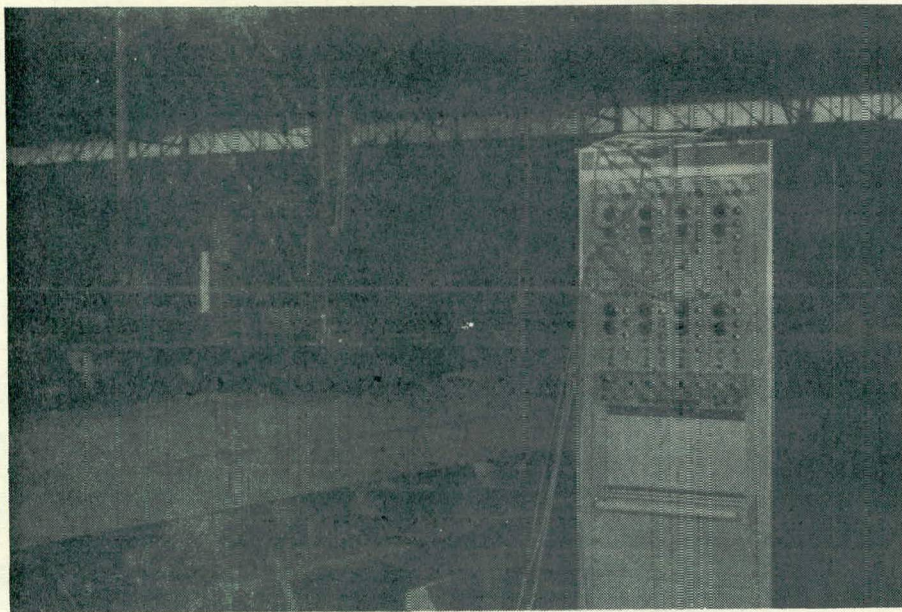
Vista global del canal y modelos. -



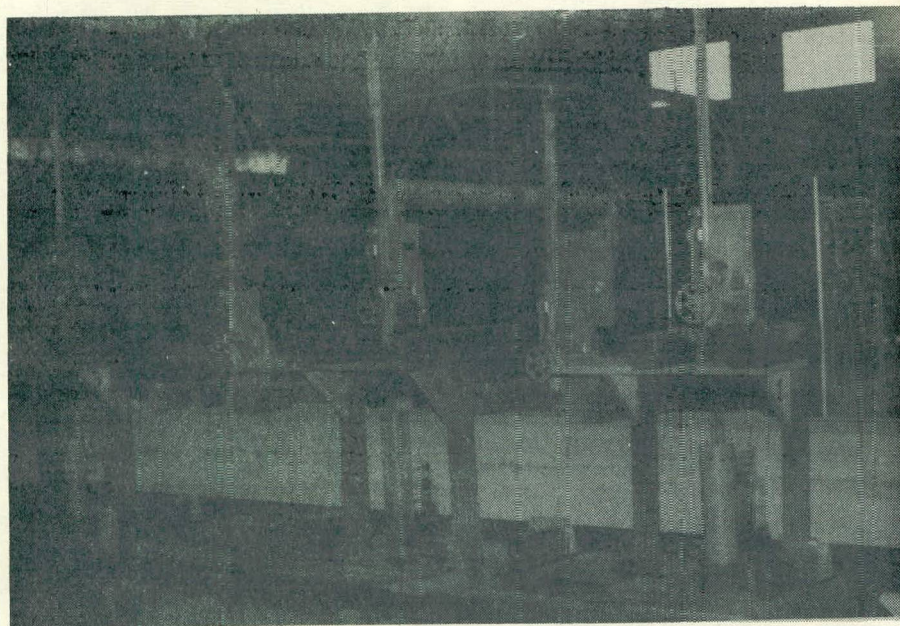
Conjunto de modelos con limnigrafos. -



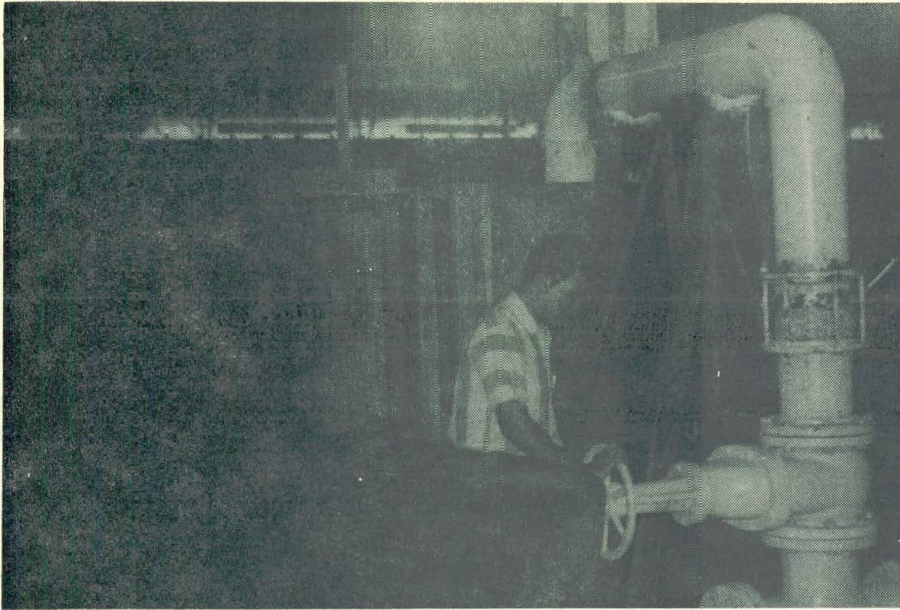
Detalles de los modelos con Limnigrafos. - En donde se destacan los distintos sistemas de comunicaciones con el canal. -



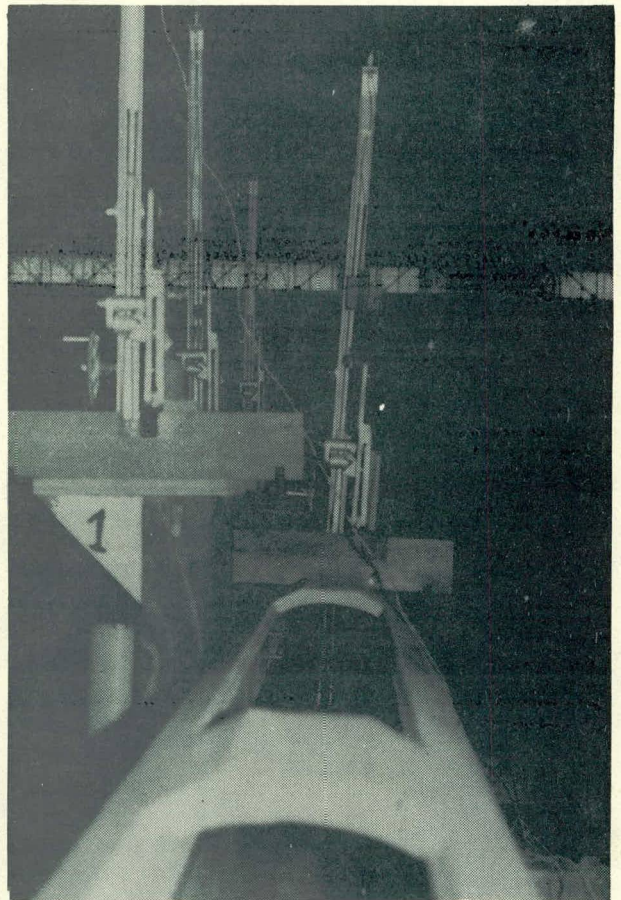
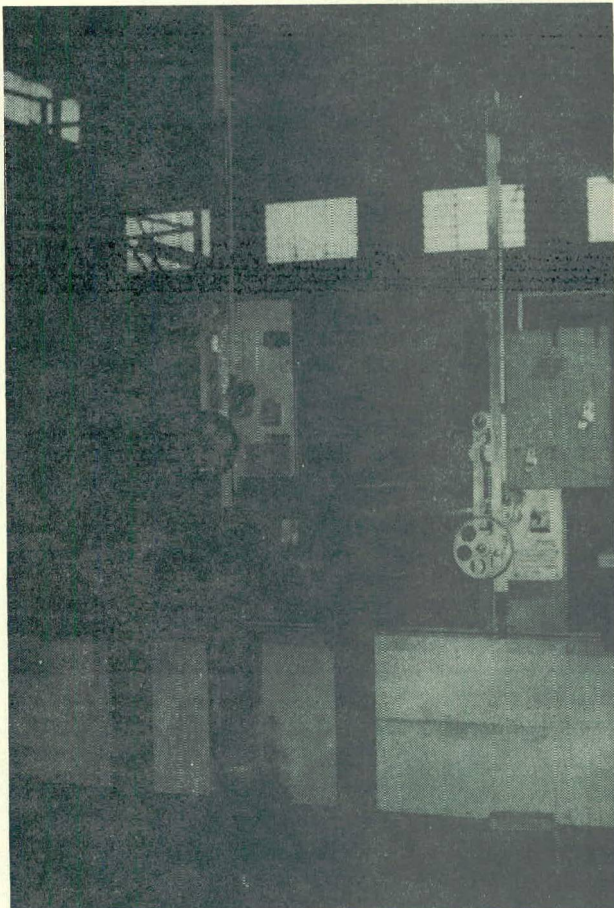
Aparato registrador de variación de niveles
marca Hewllet Packard. -



Modelos con agujas registradoras. -

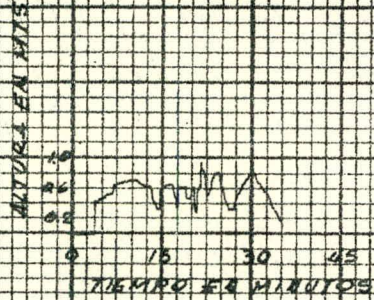


Operador manipulando
válvula para regular el
caudal del canal. -

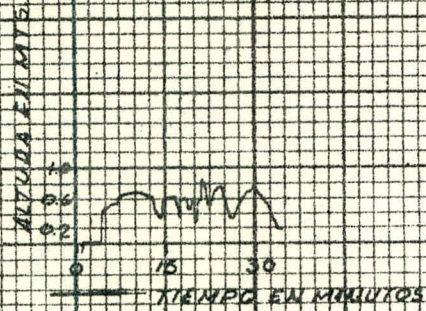


Detalles de los modelos con agujas
en canal y en cilindro de reposo. -

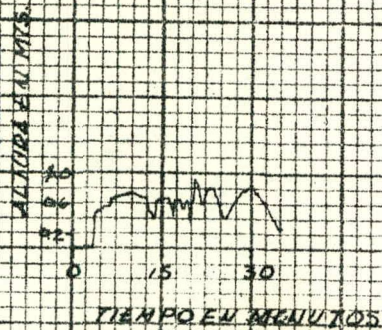
GRAFICA DEL MODELO N°1, CON LIMNIGRAFO



GRAFICA DEL MODELO N°2 CON LIMNIGRAFO



GRAFICA DEL MODELO N°3, CON LIMNIGRAFO



GRÁFICAS OBTENIDAS CON EL APARATO REGISTRADOR DE VARIACIONES DE ALTURA MARCA H. PACKARD

NOTA EN BASE A ESTAS GRÁFICAS SE HIZO EL ANALISIS CUALITATIVO

GRÁFICAS DEL CANAL

GRÁFICA DEL MODELO N°1

GRÁFICA DEL CANAL

GRÁFICA DEL MODELO N°2

GRÁFICA DEL CANAL

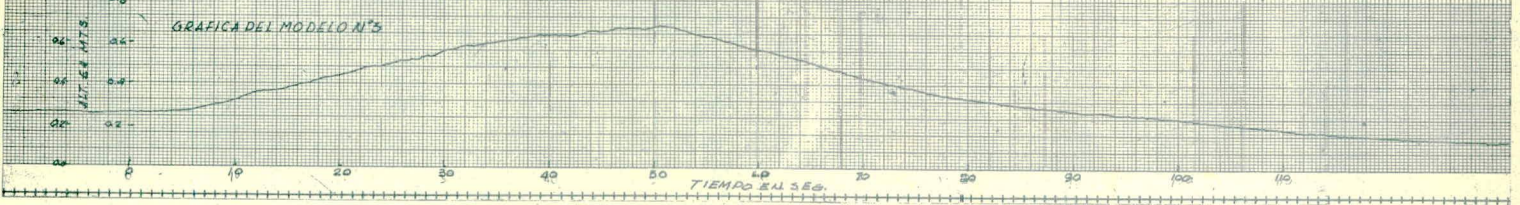
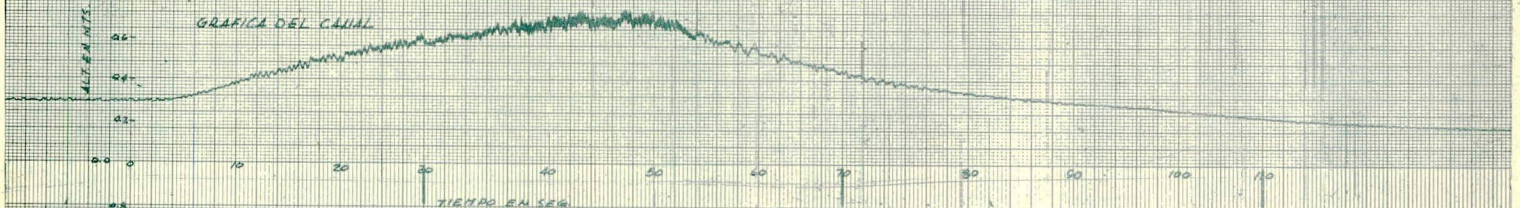
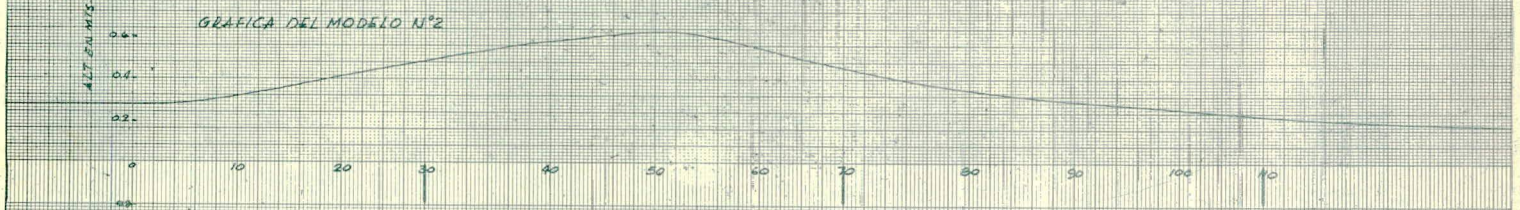
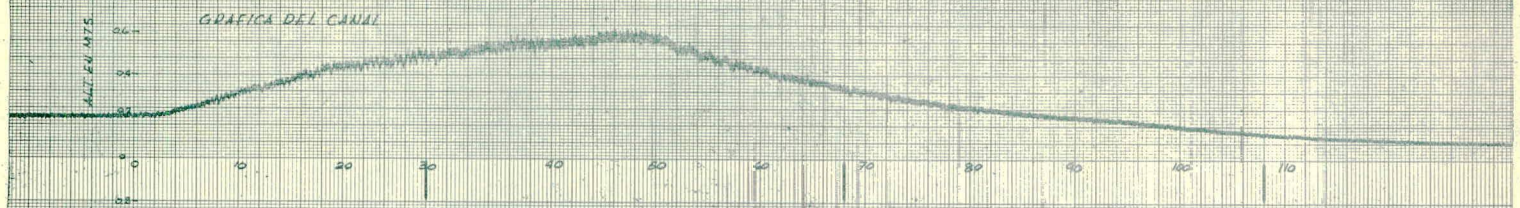
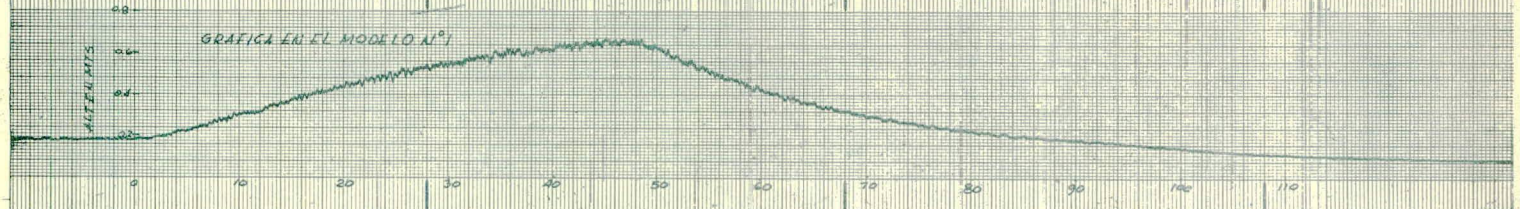
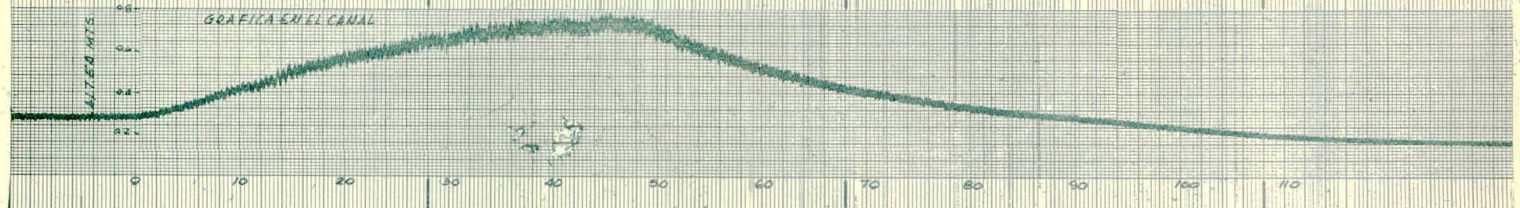
GRÁFICA DEL MODELO N°3



15 de Octubre.

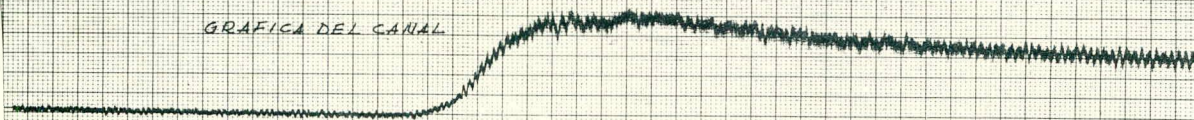
G

NOTA: EN BASE A ESTAS GRAFICAS SE HIZO EL ANALISIS NUMERICO

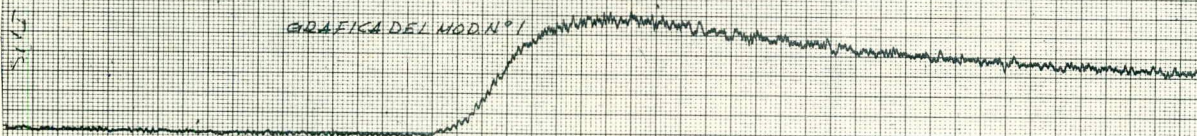


GRAFICAS OBTENIDAS CON EL APARATO REGISTRADOR DE
VARIACIONES DE ALTURA MARCA H. PACKARD
NOTA: ESTAS GRAFICAS SE OBTUVIERON CON LOS TUBOS CORTADOS

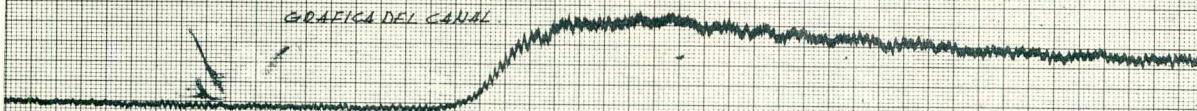
GRAFICA DEL CANAL



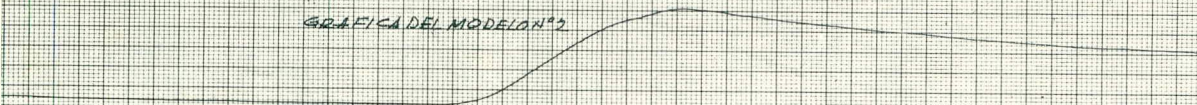
GRAFICA DEL MOD. N° 1



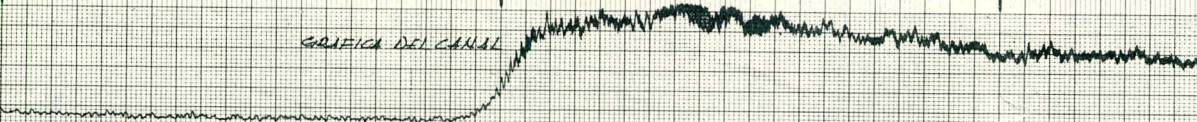
GRAFICA DEL CANAL



GRAFICA DEL MODELO N° 2



GRAFICA DEL CANAL



GRAFICA DEL MODELO
N° 3

