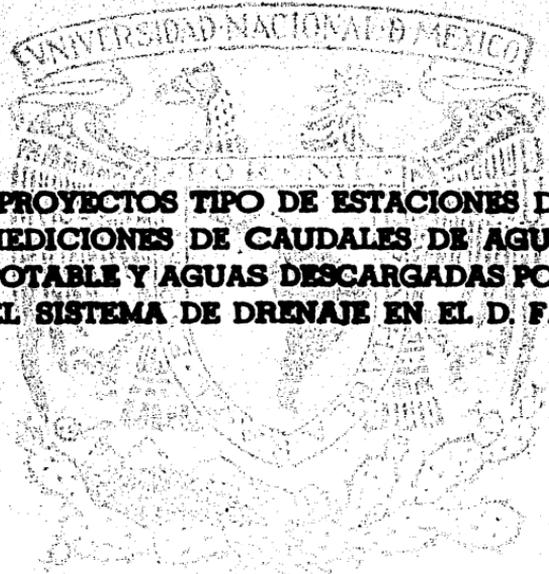


**Universidad Nacional Autónoma de México**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**



**"PROYECTOS TIPO DE ESTACIONES DE  
MEDICIONES DE CAUDALES DE AGUA  
POTABLE Y AGUAS DESCARGADAS POR  
EL SISTEMA DE DRENAJE EN EL D. F."**

**TESIS PROFESIONAL**  
**Que para obtener el Título de**  
**INGENIERO CIVIL**

**Presenta**

**ALBERTO ARROYO MONTES DE OCA**

**MEXICO, D. F.**

**1979**



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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA  
EXAMENES PROFESIONALES  
60-1-331

Al Presente señor ALBERTO ARROYO MONTES DE OCA,  
Presente .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Gilberto Sotelo Avila, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"PROYECTOS TIPO DE ESTACIONES DE MEDICIONES DE CAUDALES DE AGUA POTABLE Y DE AGUAS DESCARGADAS POR EL SISTEMA DE DRENAJE EN EL D.F."

1. Antecedentes
2. Tipo de medidor por utilizar
3. Estructuras auxiliares
4. Especificaciones y recomendaciones

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente,  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cár. Universitaria, 11 de diciembre de 1978  
EL DIRECTOR

ING. JAVIER JIMENEZ ESPINO

JJE/OLH/imp.

## P R O L O G O

Todo ser humano, desde su primera infancia advierte a su alrededor hechos o acontecimientos que no comprende, que no se explica y esos fenómenos de la naturaleza como son: El cambio de la luminosidad del día a la obscuridad de la noche; la brillantez del sol que es más poderosa que la resistencia del ojo de una criatura viviente y la serenidad y placidez de la luna; el calor de la primavera, la precipitación pluvial en el verano; el flujo y reflujo del mar; la impetuosa corriente de muchos ríos o el hilo plateado que perezosamente transcurre en los arroyos o la belleza plazmada y somnolienta de los lagos, la majestuosidad de las cataratas, las soberbias obras de la Ingeniería Hidráulica que en reto a la naturaleza construye el ser humano, las portentosas construcciones por medio de las cuales el ingenio del hombre gana terrenos al mar para crear emporios agrícolas como sucede en el caso de Bélgica y Holanda principalmente; o bien, también, cabe mencionar el caso de intervención de la mano del hombre para hacer productivos y verdaderos vergeles en zonas áridas como el desierto, según lo han demostrado los pueblos israelitas en los desiertos de Palestina, y, un sin fin de prodigios que sería largo enumerar y que en el infante se graban en su mente, en el adolescente despierta inquietudes y en el joven, en el adulto

los dejan pasmado y los impulsan a investigar, a entender y -- obligarse, y en ciertos casos aún, a ejercer dominio sobre elementos aparentemente hostiles al hombre, aunque desgraciadamente la imperfección o la capacidad generada del ingenio humano -- llevan a aplicar sus experiencias contra la naturaleza creando la pérdida del equilibrio ecológico.

Esa inmensidad de factores sobrecoge al ser humano y los lleva primero a sentir temor creando tabúes, después a deidificarlos por considerarlos sobrenaturales y obra de un ser -- omnipresente pero desconocido y eminentemente prepotente que -- empequeñece las magnas obras creadas por la civilización, tanto antigua como moderna, y sin embargo, poco a poco va hurgando en su afán de explicarse los misterios que motivan las variantes -- incontables de la naturaleza y los motivan para tratar de emu--lar esa magnífica obra heterogénea pero perfectamente sincroni--zada del ambiente natural en que se desenvuelve y nace con avi--dez la ambición de conquistarlos y porque no, de superarlos. -- Crece ahí el deseo de meditar, de estudiar, de investigar; se -- forman grupos de hombres que empeñan su esfuerzo en el intento -- de desentrañar cada uno de esos fenómenos prodigiosos; nace el -- afán de conocer, la ciencia, la técnica, la civilización y la -- cultura humanística.

En el caso particular de quien escribe y en el deve--nir de los años de estudiante, tuve sueños que se convirtieron--

en inquietudes, que posteriormente se tornaron en ilusiones y - fantasías y, finalmente, en un reto por conocer y explicar uno- de esos tantos factores, aunque nunca con la pretención de domi- narlos en su esencia ni individual ni colectivamente. Mi perma- nencia en la Facultad de Ingeniería me planteó diversos caminos para decidirme a seguir, a ilustrarme más sobre alguna de las - facetas que se nos dió a conocer en nuestra casa mater y ante mi indecisión por considerar que cada uno de los grupos tenían gran- des valores relevantes, opté por buscar el consejo, el asesora- miento y dirección del eminente y respetado maestro Ing. Gilber- to Sotelo Avila, Maestro en Ingeniería y Catedrático en la Fa- cultad de Ingeniería e Instituto de Ingeniería, a quien singula- rizo una gratitud y respeto absoluto ya que bajo su dirección - esbocé este pequeño y no agotado tema que más adelante presento como tesis para obtener el título de Ingeniero y que espero pa- ra un futuro inmediato, completar y perfeccionar en los estudios de postgraduado, ya que soy consciente de las lagunas, de las - obscuridades y de lo elemental del contenido de mi tesis profe- sional, que no por adolecer de superficialidad signifique que - no he tratado de llegar al meollo del problema para que mi tra- bajo pudiera servir en algún momento dado para el desarrollo de una obra comprendida dentro de los programas gigantescos que -- afronta el gobierno del Distrito Federal.

Me entregué con todo empeño al estudio de la Hidráulica que es tan vasta, tan inagotable, tan llena de problemas en el presente y para un futuro mediato o inmediato ya que significa un reto el satisfacer las necesidades cada vez mayores debido a la densidad creciente de una población mundial que -- aterra aún al más optimista, y no únicamente en el campo de la Ingeniería sino en todos aquellos que estudian y prestan su es fuerzo en diversas áreas del conocimiento y del saber.

En efecto, el elemento agua es y ha sido primordial -- para la vida humana y vemos que aún en la etapa primitiva de -- grupos nómadas, transitaban y se desenvolvían en las proximidades de los ríos, de los lagos; que en el devenir del tiempo cuando esos seres dedicados a la caza para su provisión alimentaria se asentaron, cambiaron su actividad derivándola hacia la agricultura, y para ello, con mayor razón, buscaron las estribaciones de los lugares acuíferos. Corrido el tiempo se formaron po blados, ciudades-estados y capitales cosmopolitas que debieron su progreso y grandeza a la mayor o menor cantidad de agua de -- que disponían para saciar la sed de sus habitantes, el suministro constante para la agricultura, la anchura y profundidad de sus ríos como medio de defensa contra ataques de otras ciudades rivales, que aprovecharon el ímpetu de las corrientes para generar fuerza motriz primero para molinos primitivos y posterior--

mente para el establecimiento de grandes unidades hidráulicas para generar energía eléctrica; para servirse del agua como medio de comunicación y aún para delimitar fronteras políticas con otros pueblos, con otros estados.

Así vemos como a la orilla de grandes ríos nacieron civilizaciones poderosas, ciudades densamente pobladas que -- fueron factores determinantes para el florecimiento de admiradas y milenarias culturas, de poderosos centros industriales y comerciales que influyeron decisivamente en la formación de la historia política, social, económica y artística de las naciones.

Como vía de ejemplo me permito señalar algunas de ellas ubicadas en puntos equidistantes: Londres en el estuario del Río Támesis; París cuyo destino e historia está ligada al Río Sena; el Rhín, río fronterizo, codiciado, ligado a mitos legendarios y de canciones guerreras a cuyas márgenes se establecieron los grandes castillos feudales que aún hoy en día son admiración del turismo que tiene la fortuna de recorrer sus aguas; el Río Nilo de más de 6,000 Km. de longitud, que parte desde las nevadas cimas del Ruwanzori hasta el fértil Delta que da vida a Egipto, a Alejandría y refresca a la ciudad de El Cairo y que además, en su sedimento se escriben siglos de historia de grandes dinastías faraónicas y bíblicamente es-

tá ligado a importantes hechos religiosos; el Danubio, río frío y musical remembranza de grandes invasiones y ciudadelas inexpugnables; que la Ciudad de Venecia a sus márgenes llegó a ser la capital del comercio y la introducción de las exquisitas obras de arte de los países orientales; que estableció la confrontación de la cultura occidental y oriental por medio de la navegación ya que comunica a media Europa, y cuenta entre su rívera más central a las ciudades de Bratislava y Budapest; el Ganges, río sagrado en cuyas aguas se purificaban y se siguen sumergiendo con igual fin en el presente, los miembros de una de las religiones más grandes del orbe; el establecimiento de grandes ciudades, como es la sagrada de Hardwar y la floreciente Calcuta; el Jordán con los grandes sucesos de la Biblia y con la confrontación de pueblos israelíes, árabes, mahometanos, musulmanes; el Mississippi, gigante que creó estupendos emporios agrícolas e industriales y con una historia vergonzante de la esclavitud de la raza negra que denigra a la humanidad, y a cuyas ríveras crecieron las ciudades de Minneapolis, San Luis, Memphis, Nueva Orleans, y que corre de norte a sur atravesando todo el territorio de los Estados Unidos; el Mekong, al cual la Indochina debe su civilización, cultura y grandeza de sus ciudades; el Yangtze Kiang, el ancestral río de las arenas de oro, arteria vital de la China. El Río Bravo del Norte que sirve de línea divisoria entre México y Estados Unidos en gran parte y que ha sido el consecuente de muchos conflictos entre nuestro país y el del

Norte por los constantes cambios de cauce que hicieron que - de acuerdo con tratados internacionales mucha parte del territorio nacional, por ese capricho de la naturaleza, pasara a - formar parte del país anglosajón que limita nuestra frontera-norte, como es el caso del Chamizal; a las orillas de este -- río se levantan importantes ciudades de ambos países. En el- sur de nuestra patria el Río Suchiate de una importancia capi- tal no únicamente como instrumento delimitatorio en relación- a la República de Guatemala, sino por su caudal beneficiador- de una gran área agrícola y forestal.

Sin embargo, el crecimiento desmesurado de la pobla- ción mundial, la urgencia de contar con mayor caudal de ese - líquido precioso e insustituible para sus enormes industrias- y para la época de estiaje, ha hecho indispensable que el hombre construya grandes presas que reciban el caudal de los --- ríos, cuya agua no se aprovecha en su integridad, pues en ma- yor proporción va a perderse en los océanos, o bien, para te- ner una reserva cuando la precipitación pluvial sea escasa o- insuficiente para las necesidades más apremiantes del ser hu- mano; también para generar en la actualidad electricidad me-- diante las turbinas que aprovechan y se mueven a consecuen- cia de fuerza y presión del agua.

Es digno de mención las portentosas obras de inge-- niería creadas, como ya se dijo, en Holanda, en la Palestina-

y también en Grecia con sus grandes acantilados y suelo rocoso que gracias al genio de sus Ingenieros la han tornado fecunda en sus valles o abundando en ejemplos, el caso pretérito del pueblo romano que estableció grandes acueductos, desde tiempos muy remotos, para hacer llegar el agua a sus ciudades en un territorio cuya topografía vencieron, no obstante que en ese entonces no se contaba con los poderosos motores que impulsaran el agua que la elevaran.

Obras todas ellas que causan admiración y demuestran el esfuerzo del hombre en su lucha contra la adversidad y que debidas a la Ingeniería en particular, son timbre de orgullo para quienes se dedicaron a esa tarea.

Entre las grandes obras de Ingeniería Hidráulica podemos citar en el orden internacional las presas de Asuan en Egipto; y la presa Hoover, en los Estados Unidos; Nurek, en Rusia; Mica, en Canada; Bhakra, en la India, etc. etc. En el orden nacional la obra de ingeniería mexicana debe estar orgullosa con la erección de la presa de la Angostura y Netzahualcoyotl en Chiapas; El Infiernillo, en Michoacán; Presidente Alemán, en Oaxaca; La Amistad, en Coahuila; Vicente Guerrero, en Tamaulipas; y Chicoasén, en Chiapas.

Ya retrotraído el caso de las grandes obras acuíferas al caso de nuestro país también advertimos el mismo fenómeno de

que nuestros antepasados primarios que se asentaron en nuestro territorio lo hicieron en las proximidades de lagos, ríos, estanques y cenotes como fueron los Olmecas, Los Mixtecos Zapotecos, - Totonacas, Aztecas, Mayas, Tarascos, etc., principalmente estos tres últimos que en su orden aprovecharon el Lago de Tenochtitlán, los cenotes, en Mérida y los hermosos y poéticos Lagos de Michoacán. Los conquistadores españoles procedentes de una Europa ya muy avanzada en su civilización se quedaron sorprendidos al llegar al Valle de México y ver los canales tan bien trazados por los Aztecas y le tocó a nuestra gran capital asentarse en un gran lago de donde emergió la capital de los Aztecas y posteriormente nuestra gran urbe que es la Ciudad de México.

No obstante, en el devenir del tiempo la población -- fue creciendo desorbitadamente y en la actualidad nuestro país cuenta con alrededor de 65 millones de habitantes de los cuales 12 millones se hayan concentrados en el Distrito Federal; ello ha provocado un gran reto a nuestras autoridades, y un desasosiego a nuestros técnicos. En primer lugar porque el gran lago donde queda asentada nuestra capital ha desaparecido, porque -- los mantos acuíferos que existen en el subsuelo no pueden utilizarse a toda su capacidad para evitar el hundimiento de nuestra ciudad; los ríos más cercanos no bastan o se han agotado para -- poder surtir el gran volumen de líquido potable que nuestra población necesita para sus menesteres.

Por ello se han visto precisados a traer agua de - - otros lugares muy lejanos y que por lo accidentado de nuestro terreno, de nuestra topografía, han tenido que dar muestra de su gran capacidad técnica nuestros ingenieros para superar - - esos obstáculos naturales hasta traer a nuestra ciudad un volumen de 40 m<sup>3</sup>/seg. de fuentes de suministro como Chalmita que - proporciona a nuestra ciudad 5 m<sup>3</sup>/seg; Chiconautla, 4 m<sup>3</sup>/seg; - Lerma 10 m<sup>3</sup>/seg; Xotepingo, 4.5 m<sup>3</sup>/seg; Cerro de la Estrella, - 2 m<sup>3</sup>/seg; extracción de agua en pozos municipales y particulares 14.5 m<sup>3</sup>/seg; teniendo en este último caso que limitar el - abasto para evitar el hundimiento de nuestra ciudad.

Pero además de que esas fuentes en un tiempo no leja no corren el riesgo de secarse, también se complica el abastecimiento porque tendrá que recurrirse entre otros medios, a -- traerla de Papantla, Ver., Amacuzac, Gro., y por si ello no -- fuera suficiente para pasmarnos, vemos que muchos de nuestros ríos y lagunas sufren de un gran índice de contaminación por - los desechos industriales; porque las aguas pluviales no son - aprovechadas ya que convergen y buscan su salida por el alcantarillado de aguas negras de desperdicio, o bien en otros luga res como León, Gto., en que su suelo es muy poroso y absorbe - todo líquido pluvial que aún cuando forma mantos acuíferos en el subsuelo, son muy caras las obras que se han emprendido o que - se tendrán que continuar haciendo para suministrar agua potable a esa industriosa ciudad.

Pero la tarea hidráulica no únicamente consiste en - el aprovisionamiento y captación del agua, sino también el desfogue de la misma ya contaminada en su mayor parte que tiene - que vaciarse a ríos que la conduzcan a lugares no agrícolas o forestales para que con su contaminación no rompan el equili-- brio ecológico de las regiones por donde pasan y para este fin se ha estudiado el tratamiento de esas aguas contaminadas bus-- cando también su máximo rendimiento para hacerlas útiles en la agricultura, o bien para aprovecharlas con fines industriales, para que estas últimas no mermen el caudal potable.

Para avanzar en tan magna obra se han emprendido es-- tudios, primero tendientes a medir la entrada y salida del agua para darle mejor destino a la potable y para aprovechar la conta-- minada mediante tratamiento y, en seguida, para distribuir la - primera de acuerdo a la densidad de la población de cada zona - capitalina y para determinar el desperdicio de la misma por su mal uso o por el deficiente o deteriorado sistema de tuberías - cuyas fugas merman su empleo cabal y por otros imponderables. - El objetivo de este trabajo es precisamente el experimentar qué medidor, de los muchos que existen, es el adecuado para dicha - medición a fin de adaptar el más idóneo, tomando también en - - cuenta costos y mantenimiento, perfeccionamiento técnico, etc.

Problema irresoluble en el presente porque ya se ha enunciado que casi un tercio del agua potable que surte a la ciudad, proviene de pozos ubicados en el Valle de México, y dicha medida debe desterrarse lo más pronto posible pues nuestros técnicos en Hidráulica y en Mecánica de Suelos han advertido que si se continúa la extracción de agua de esos pozos, la Ciudad de México se irá hundiendo en proporciones más alarmantes en un futuro próximo y que pudiera llegar a dar el caso de que nuestros sistemas colectores queden muy encima del nivel de los asentamientos humanos, y que aún aquellos que se han construido con inmensos sacrificios del presupuesto público, no basten para sacar el agua contaminada de esta ciudad.

Problema irresoluble para el futuro por el crecimiento demográfico de nuestra ciudad que según cálculos de peritos en la materia, para el año dos mil, no lejano, podría alcanzar hasta los 20 millones de habitantes y la angustia de autoridades y técnicos se asemejará a una pesadilla por la carencia de agua potable, por el grado creciente de dificultad para expulsar el agua de desecho y por la imposibilidad de saciar la sed, asegurar la higiene de los habitantes de esta asombrosa, pero afligida metrópoli.

Aquí se presenta ante el Ingeniero en Ciernes que escribe sus experiencias técnicas y prácticas en esta tesis, no ya el asombro por los prodigiosos fenómenos de la naturaleza, perfecta y equilibrada ya descritos anteriormente y que lo llevaron a escoger esta carrera por lo atractivo de su contenido, sino la angustia, la sensación de impotencia, de fragilidad, de carencia de recursos técnicos o económicos para afrontar tan magna obra, vital para el género humano circunscrito a nuestro medio, pero no única en el mundo, pues ahí está también latente el caso de la Venecia esplendorosa, aristocrática que va agonizando al irse sumergiendo en las aguas que la circundan.

Se palpa pues, el contraste, el abismo tan grande que existe entre la pródiga e inconquistable Naturaleza y los esfuerzos meritorios pero insuficientes hasta el presente, para que la ciencia, la técnica del hombre se le pueda asimilar o comparar. Maravilla de perfección sobrenatural pujante e invencible, pero si alterable sin que se puedan precisar o captar todos sus efectos, en una inquietud y marasmo en la otra hasta que el ser humano agudice mayormente su ingenio a un grado tal que el paradigma del ser estudioso afirme y constate: "Que no sea jamás en la labor humana, vano el afán ni inútil la porfía".

## I. - ANTECEDENTES

### I.1. - HISTORIA

Los ríos han sido siempre aprovechados por el hombre de diferentes maneras; el uso más importante ha sido para tomar el agua y utilizarla en el consumo personal, ya sea ingiriéndola o para otras necesidades. También el agua que lleva el río ha sido utilizada para eliminar nuestros desperdicios, tanto los fisiológicos, como los derivados de la transformación en las industrias.

En la actualidad, casi todos los ríos dentro de las grandes ciudades se encuentran entubados; otros se han encauzado de manera artificial. Esto se debe principalmente a que los grandes conglomerados han vuelto insalubres las corrientes de agua por efecto de sus desechos, además que las industrias con frecuencia vuelven inservible cualquier corriente en la que descarguen sus residuos. Se ha llegado al límite de que toda el agua que escurre por esos ríos no puede ser utilizable como potable y es por ésto que se tiene que traer desde muy lejanos lugares o desde las profundidades del subsuelo para permitirnos la subsistencia al ser indispensable en la vida de todo ser sobre la tierra.

El volumen de agua abastecido a las ciudades no se conoce con precisión y ahora que es tan escasa es necesario conocer mejor ese volumen así como su distribución en el interior de la ciudad, tomando en cuenta que la población no está distribuida uniformemente sobre el área, es decir, en algunos lugares hay necesidad de más agua que en otros.

El agua que necesitan las industrias también es muy importante ya que en los casos que ha habido déficit en el suministro, se ha dado prioridad para satisfacer esa demanda.

Después de haber sido aprovechada el agua potable, en sus distintas funciones, es necesario desalojarla de las ciudades. Para esto, se construyen sistemas de drenaje que nos permitan desechar esas aguas fuera de las ciudades, donde no sean un foco de contaminación y puedan ser aprovechadas en el riego, después de haber sido tratadas.

Además de desalojar las aguas negras, hay la necesidad de desalojar las aguas producto de la acción de la precipitación pluvial; eso vuelve muy compleja la operación de los sistemas de drenaje, debido a que las condiciones de operación son muy diferentes durante las épocas de estiaje y de lluvia.

Se ve entonces, que se requiere información precisa de esos volúmenes, así como su ocurrencia y distribución en el interior de la ciudad, para que de esa forma se proyecten adecuadamente los nuevos sistemas de drenaje y la ampliación o rehabilitación de los existentes.

La información de la cantidad de agua, así como de su calidad, será de gran utilidad para conocer hasta que grado es conveniente desalojarla y tratarla, ya que desechar el agua muy contaminada y en una cantidad muy grande, puede llegar a cambiar las condiciones de los lugares por donde circule, y hasta la ecología de toda la zona.

Todos estos proyectos tienen la finalidad de medir la cantidad de agua que actualmente se maneja y aquí se describen los métodos para efectuar las mediciones de acuerdo a las condiciones de cada lugar y sistema, haciendo referencia de otros métodos existentes.

I.2.- ASPECTOS GENERALES.

El plan de un proyecto se origina generalmente con el deseo de satisfacer las necesidades específicas, objetivos o propósitos.

Al principio de cada proyecto se hace un estudio de reconocimiento en base a los datos básicos de que se disponga. Es necesario valorizar estos datos y verificarlos, completando con datos adicionales aproximados y concibiendo un plan básico operable que utilice los recursos disponibles para satisfacer las necesidades.

Este plan básico puede entonces compararse en términos generales con otras alternativas, a fin de obtener un plan final aproximado que cumpla los objetivos, localizaciones aproximadas y otros detalles.

Después de que se han determinado los detalles del proyecto y estructuras auxiliares, se completa el proyecto calculando las cantidades de obra y la lista de materiales.

Se debe preparar un informe completo que abarque la investigación, los detalles técnicos y el costo de los proyectos. Debe contener una descripción general del pro--

yecto incluyendo los patrones de que consta, una copia del presupuesto detallado y planos mostrando el proyecto y las secciones, así como los detalles. En los planos deberá haber un croquis de localización, una planta general de la obra y un espacio para todas las recomendaciones que sean indispensables.

Es recomendable complementar el proyecto con fotografías, que son una representación fiel de las condiciones del lugar.

Para tener la seguridad de que la descripción ha sido completa y de que se han registrado todos los datos esenciales, cálculos, condiciones, etc., se emplea un procedimiento uniforme en todos los proyectos.

## II.- TIPO DE MEDIDOR POR UTILIZAR.

El gasto o caudal de agua que pasa por una sección transversal, depende directamente del área de la sección y de la velocidad media.

Una estación de medición o de aforos consiste en el conjunto de dispositivos ubicados sobre un conducto, en el que se practican sistemáticamente mediciones para conocer algunas características del flujo.

Algunos dispositivos en las estaciones miden el gasto indirectamente; esto es, la velocidad o la diferencia de cargas se mide primero y luego se utilizan gráficas o tablas con estos datos para obtener el gasto; por lo tanto,-- los métodos para determinar el gasto son una mezcla de raciocinios y evaluación de coeficientes.

El dispositivo de medición se compone principalmente de:

Elemento primario de medición, elemento secundario y equipo complementario.

El elemento primario de medición generalmente es una restricción que se produce en el conducto. La restricción hace que el fluido se contraiga; debido a que el volú-

men de un líquido varía muy poco con los cambios de presión y temperatura (incompresible), entonces la velocidad cambiará al pasar por la restricción, disminuyendo simultáneamente la presión estática. Esta relación se define como sigue: - "La caída de presión causada por la restricción es proporcional al cuadrado de la velocidad del fluido"

La diferencia entre las presiones antes y después de la restricción, representa un índice de la velocidad del fluido. Para determinar el gasto del fluido, basta simplemente multiplicar el índice de velocidad por el área de la restricción. Esta relación se puede representar de esta forma:

$$Q = C A V$$

Donde: Q = Gasto.

C = Coeficiente de descarga.

A = Area de la restricción.

V = Velocidad del flujo.

La presión diferencial se mide y convierte en unidades de flujo por medio de un aparato "secundario" de medición. La forma más sencilla de este aparato, es un tubo de vidrio en forma de "U" y el flujo se determina midiendo la diferencia de altura entre las dos columnas de mercurio. (Fig. 1)

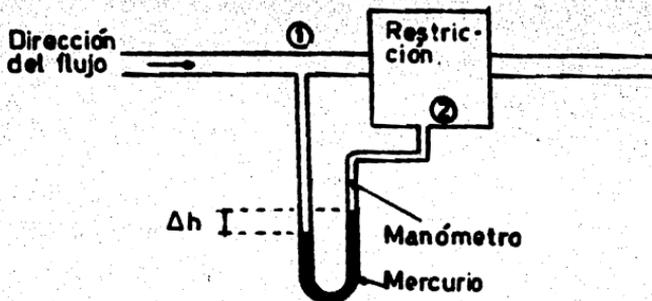


Figura 1

Este tubo en forma de "U" se conoce comúnmente como "cuerpo medidor", ya que efectivamente mide la magnitud de la diferencial de cargas de presión. Este cuerpo medidor se complementa con un instrumento que puede ser indicador, registrador, totalizador, etc., el cual convierte las señales transmitidas por el cuerpo medidor (que pueden ser mecánicas, eléctricas o neumáticas) a las unidades deseadas.

Hay muchas combinaciones posibles con éstos tres tipos de transmisión; entre ellas se puede citar el caso de un medidor de tipo mecánico provisto de un sistema de transmisión neumática conectado a un aparato receptor, que puede estar instalado a control remoto.

## II.1.- ELEMENTOS PRIMARIOS DE MEDICION.

Los elementos primarios de medición más comúnmente usados, son: Placa de orificio o diafragma.

Tobera.

Venturímetro.

Aforador de codo.

• Tubo de Pitot (Annubar).

### II.1.a.- PLACA DE ORIFICIO O DIAFRAGMA

Un medidor de orificio consiste en una placa con una perforación al centro que se instala perpendicularmente a la dirección del flujo, obligando al fluido a pasar a través del orificio. El orificio está localizado por lo general en el centro de la tubería y tiene un diámetro que fluctúa entre el 30% y 80% del diámetro interior del tubo.

La placa de orificio debe tener la resistencia necesaria para evitar deformaciones bajo presiones diferenciales ordinarias. Generalmente se usan placas de 1.588 mm de espesor en tuberías hasta de 10.16 cm de diámetro; las placas de 3.175 mm se usan en tuberías de más de 40.64 cm.

En zonas cercanas al orificio, los elementos de fluido próximos a la pared del tubo se dirigen hacia el centro para pasar a través de la abertura. Experimentalmente se ha comprobado que éste efecto comienza a corta distancia de la placa - y que la contracción continúa una cierta distancia más allá - de la misma, donde el fluido se ensancha hasta llenar nuevamente el tubo. La sección más estrecha del fluido recibe el nombre de vena contracta. Las secciones achuradas de la figura 2a., representan bolsas de líquido estacionario, donde se disipa gran cantidad de energía por efecto de la turbulencia.

Si la presión se mide en un cierto número de puntos a lo largo y después de la descarga (Fig. 2b), la presión  $P_2$  dependerá de la posición de las tomas de presiones. Si comenzamos a medir la presión desde atrás de la placa,  $p_2$  decrecerá poco a poco al mover la toma, hasta que es mínima en la posición de la vena contracta. En éste punto la sección del fluido es mínima y corresponde a los valores máximos de velocidad y energía cinética. Al mover la toma hacia adelante, la presión aumentará gradualmente pero sin recobrar su valor inicial, debido a las pérdidas irreversibles por fricción - causadas principalmente por la turbulencia en el orificio.

El lado de la placa correspondiente a la presión alta debe quedar perpendicular al eje de la tubería y su borde, torneado a escuadra para obtener los mejores resultados.

Cuando se bisele el borde, tendrá que hacerse en el lado de baja presión de la placa y a un ángulo no menor de  $45^\circ$ .

El fluido al pasar a través de un orificio, tiene un contorno similar al mostrado en la figura 2a.

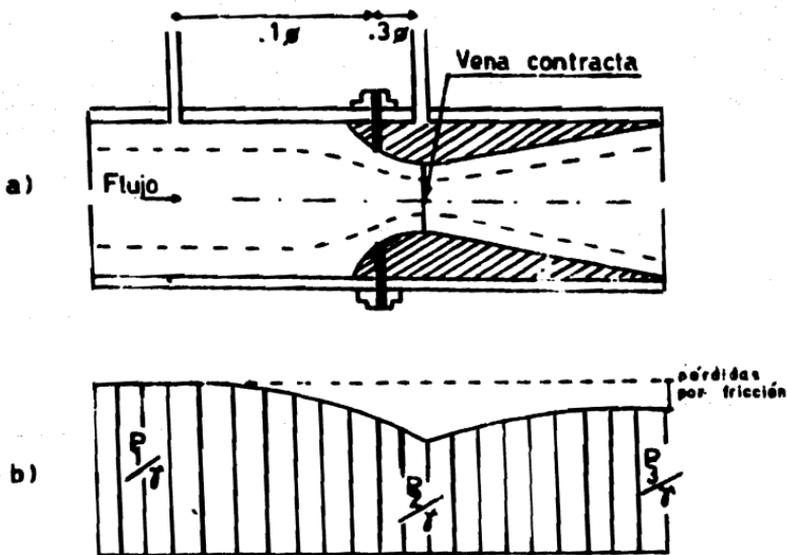


Figura 2.

El menor diámetro de la corriente se obtiene en la vena contracta, la cual corresponde al diámetro de la garganta en el tubo de Venturi y en la tobera.

II.1.b TOBERA

En el caso de tuberías con diámetro mayores de 30 - cms., se emplean toberas en lugar de diafragmas.

Se puede describir este elemento primario como un tubo de Venturi de inserción, sin cono de salida. La falta de dicho cono aumenta las pérdidas de presión de manera permanente.

Las toberas son considerablemente menos costosas que el tubo de Venturi y pueden utilizarse por consiguiente cuando la pérdida de carga no es de consecuencias importantes.

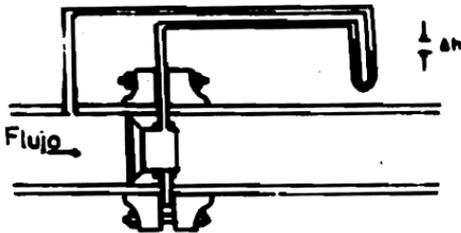


Figura 3

### II.1.c VENTURIMETRO

Este elemento primario de medición se instala en la tubería de la misma manera que cualquier otro tubo de tipo común y corriente, pero su sección media tiene un diámetro más-pequeño, llamado "garganta"

Los diámetro de ambos extremos del tubo de Venturi-corresponden al diámetro interior de la tubería a la cual se-conectan.

El cuerpo cilíndrico del tubo entra en un cono de -convergencia angular fija. Este cono entra a la sección media que forma la garganta y que tiene un diámetro más pequeño, que ha sido calculado y torneado con precisión. La garganta está conectada a un cono de salida de divergencia angular fija y -cuyo diámetro final corresponde al de la tubería.

El cuerpo cilíndrico del tubo de Venturi está equi-pado con conexiones piezométricas en un anillo de presión, pa-ra promediar la presión antes de la garganta; a este anillo se conecta la toma de alta presión del cuerpo medidor. La garga-nta tiene un diseño similar para efectuar la conexión de baja-presión al medidor.

La diferencia de presiones entre el cuerpo cilíndrico y la garganta, produce la diferencial en la cual se basa la medición del flujo.

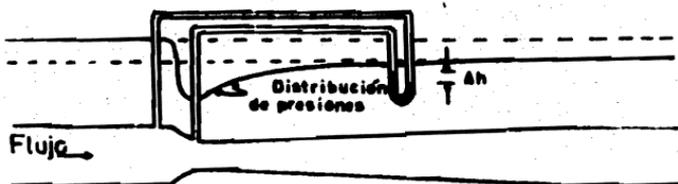


Figura 4

También existe un elemento primario que es similar al antes descrito pero con ventajas adicionales, tales como poder medir el flujo a una presión extremadamente alta, evitando el costo excesivo de un tubo de Venturi clásico. Este tubo se conoce como Tubo Venturi de Inserción.

El montaje que se fija entre dos bridas a la tubería sirve también como conexión de baja presión ya que tiene incorporadas las aberturas piezométricas y el anillo de presión de la garganta.

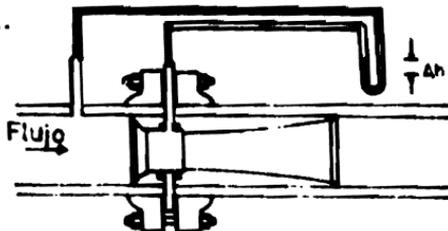


Figura 5



FOTOGRAFIA 1 VENTURIMETRO

La conexión de alta presión se hace directamente en la tubería, antes de la garganta y a una distancia aproximada de un diámetro de la tubería.

#### II.1.d AFORADOR DE CODO

Se ha demostrado que existe una variación o diferencia de presión entre el interior y el exterior de un codo cualquiera, debido a que los elementos de fluido se dirigen hacia la pared del codo, causando una mayor presión en esa zona.

Esta diferencia de presiones que se genera entre dos puntos de una misma sección transversal del codo, se relaciona con el gasto que circula por dicha sección por medio de la fórmula:

$$Q = C_d K A \sqrt{2g \Delta h}$$

donde:        Q = Gasto

C<sub>d</sub> = Coeficiente de gasto

K = Coeficiente de forma

A = Área de la tubería

Δh = Diferencia en cargas de presión

g = Aceleración de la gravedad.

Hasta el momento sólo se ha experimentado en codos - que tengan una deflexión de  $90^\circ$  y la diferencia de posición  $\Delta h$ , que nos ayuda a determinar el caudal que circula por la tubería, se mide entre dos puntos opuestos y en la misma sección trans-

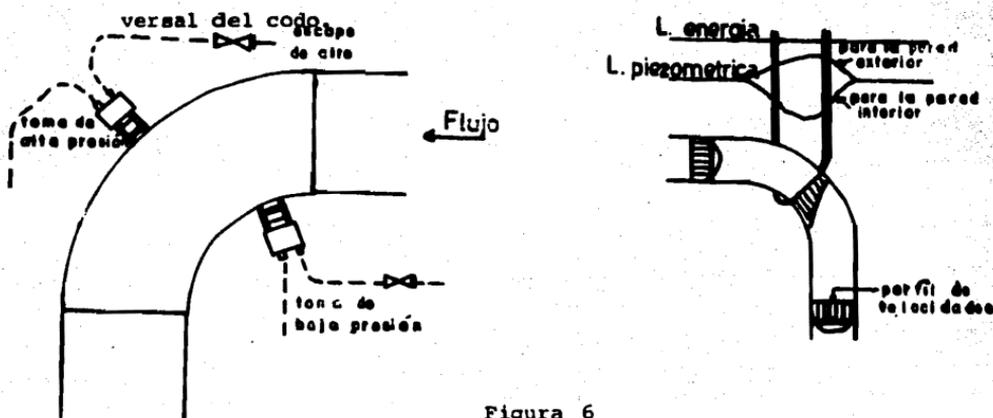


Figura 6

Se ha comprobado que este método de medición es igual de preciso que cualquiera de los métodos generalmente empleados (venturímetros, toberas, etc.)

Existen codos calibrados que se pueden instalar en lugar de cualquier codo que exista en el sistema o se puede habilitar un codo existente, con sólo colocar en el lugar adecuado las tomas piezométricas.

La ventaja del uso de este medidor, es que no produce una pérdida de carga adicional, pues se utiliza un accesorio que ya existe en el sistema y que es común en un sistema de tuberías. Por lo tanto es muy amplia la posibilidad de utilizar el codo co

do como instrumento de medición de caudales.

### II.1.e ANNUBAR

Es un instrumento que consiste en dos partes separadas esencialmente paralelas; una para indicar la suma de las cargas de presión y de velocidad (carga total) y la otra para indicar solamente la carga de presión.

La diferencia de altura de las dos partes es igual a la carga de velocidad,  $v^2/2g$ . La velocidad de flujo  $V$ , se puede entonces determinar de la relación:

$$v = \sqrt{2g \Delta h}$$

El medidor se instala haciendo un agujero al tubo, y atravesándolo hasta el otro extremo.

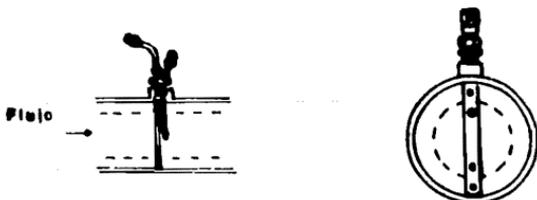
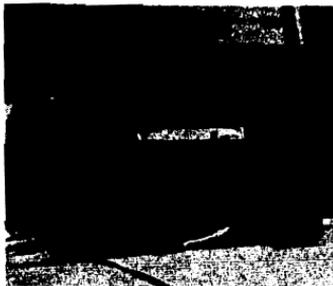


Figura 7

Los anubares se pueden colocar en conductos irregulares en lo que a la sección transversal se refiere, es decir, el conducto no necesita ser una tubería circular.

Tiene la desventaja que debido a que los orificios son muy pequeños, los materiales extraños en el agua tales como sedimento y basura, pueden obturar dichos orificios, -- produciéndose una lectura errónea.



FOTOGRAFIA 2. ANUBAR

## PROYECTO # 1

## II.1.f. MEDICION EN LA PLANTA DE BOMBEO "XOTEPINGO"

a).- A N T E C E D E N T E S

La planta de bombeo Xotepingo está localizada en el sur de la Ciudad de México.

Esta planta fue construida en 1955 y desde esa fecha se ha medido el gasto de agua en función de la capacidad de cada una de las bombas. Siendo actualmente inoperante dicho sistema debido a que la eficiencia de las bombas debe haber disminuido sensiblemente a través de los años, y con el propósito de conocer con precisión el gasto que bombea la planta, se propone la medición con venturímetros.

Actualmente medir con venturímetros se ha llevado a cabo satisfactoriamente en otros lugares, como ejemplo puedo citar los venturímetros que están a la llegada de los tanques de Chalmita y el que existe en la planta de rebombeo de Cerro de la Estrella.

b).- O B J E T I V O S Y A L C A N C E S

El proyecto consiste en la instalación de venturímetros para la medición del gasto que bombea la planta de Xotepingo por sus cuatro líneas; se denominan: Condesa 1, Condesa 2, Oriente y Poniente.

Estas líneas por las que descarga la planta se encuentran localizadas en el patio exterior del costado norte de la planta y tienen una longitud suficiente para la correcta instalación y funcionamiento de este preciso instrumento de medición, el cual producirá pequeñas pérdidas de carga en comparación con otros elementos primarios semejantes.

Es muy importante que la pérdida de presión sea pequeña, debido fundamentalmente a que alimentan una gran extensión y a lugares lejanos y más altos con respecto a la planta, a los cuales deben distribuir con carga suficiente.

La línea Poniente sirve para conducir el agua cuando la línea Condesa 2 se cierra para reparación, es decir, sirve como un "by pass".

Las líneas Condesa 1, y Condesa 2, conducen el agua al tanque de Dolores y también alimentan a la red de abastecimiento en el trayecto.

La línea Oriente abastece a la red primaria del Oriente de la Ciudad.

Este proyecto consiste de: la selección del lugar adecuado para la instalación de venturímetros, así como de sus diámetros adecuados, la instalación de una tubería que transmita las cargas de presión de cada toma del venturímetro al sitio ade

cuado en que se instalen los elementos secundarios para llevar a cabo las mediciones, las curvas que relacionen la diferencia de cargas de presión con el gasto y la selección del elemento secundario de medición.

c).- ACTIVIDADES REALIZADAS

Se realizó una visita a la planta de bombeo Xotepingo a fin de conocer la ubicación y geometría de las tuberías de descarga, así como la localización del lugar más apropiado para la colocación del venturímetro y de los elementos secundarios de medición.

Se instalarán dos venturímetros de 48" x 26" en las líneas centrales, Condesa 1 y Condesa 2. Se estima que por esas dos líneas circula el mismo gasto, y como las dos líneas conducen el agua al mismo lugar será muy apropiado para un fácil registro. Además con estas dimensiones se tendrá un rango diferencial bastante aceptable para una lectura exacta tomando en cuenta el gasto que se manda a esos lugares.

Se instalarán dos venturímetros de 48" x 24" en las líneas de los extremos, es decir en las líneas Oriente y Poniente. Esto es con el fin de tener una mayor diferencial de presión que con respecto a las otras dos líneas, debido al carácter no permanente de funcionamiento de la línea Poniente.

En lo referente a la instalación de la tubería que transmite la carga de presión de cada toma del venturímetro, el trazo

del recorrido se hará de acuerdo a los obstáculos que habrá - que salvar y a las estructuras que podrán utilizarse para facilitar su instalación. También se proyectó de tal forma que lleven el mismo trazo las ocho líneas en parte de su recorrido para no llevar la tubería por todo el edificio de la planta de bombeo.

La tubería será de cobre por ser resistente a la corrosión.

El soporte de las tuberías será por medio de soleras de acero inoxidable y taquetes expansivos, debido a que el ambiente es bastante húmedo y corrosivo, sobre todo en los cajones del patio, donde se ubicarán los venturímetros.

Para la obtención de las curvas que relacionan la diferencia de carga medida con el gasto que circula por tubería se utilizó la ecuación 9.4 de la referencia 1. En dicha fórmula, se supuso primeramente que el coeficiente, de descarga ( $C_d$ ) era independiente del valor del número de Reynolds; se comprobó que la suposición hecha era correcta y que dicho coeficiente sólo depende del grado de estrangulamiento. (m)

#### d).- INSTRUMENTOS DE MEDICION

Se propone el uso de un aparato de medición que grafique los resultados, para tener conocimiento del gasto instantáneo y que además se complemente con un totalizador, para conocer el volumen total del agua.

## e) MEMORIA DE CALCULO.

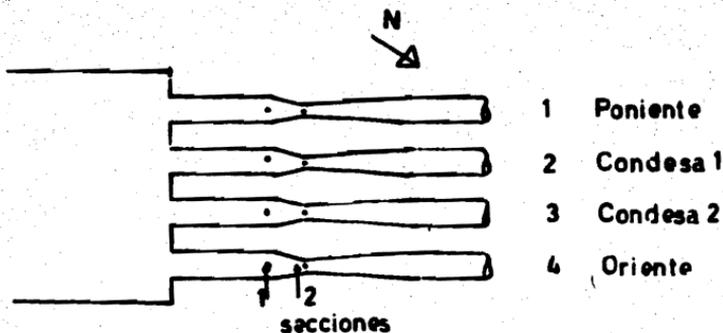


Figura 8

Venturímetros 1 y 4

$$d_1 = 1.2192 \text{ m}$$

$$d_2 = 0.6096 \text{ m}$$

$$Q = C_d A_2 \sqrt{2g \Delta h} \dots \dots \dots "A"$$

$$A_1 = \frac{3.1416 (1.2192)^2}{4} = 1.1675 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{3.1416 (0.6096)^2}{4} = 0.2919 \text{ m}^2$$

$$m = \frac{A_2}{A_1} = \frac{0.2919}{1.1675} = 0.25$$

Suponiendo que  $C_d$  es independiente de  $Re$ , de la -  
figura 9.2b de la referencia 1 tenemos:

$$C_d = 1.008$$

En la última columna de la tabla siguiente se hace

la modificación en caso de que la suposición resulte errónea.

Suponiendo valores de  $\Delta h$  y sustituyendo en "A" se obtienen los gastos:

$\Delta h$ (cm de columna de agua)	$Q$ (m <sup>3</sup> /seg)	$v$ (m/seg)	$Re$ ( $N=0.013\text{cm}^2/\text{seg}$ )	$C_d$
1	0.13	0.445	$2.09 \times 10^5$	1.008
10	0.4121	1.412	$6.62 \times 10^5$	1.008
20	0.582	1.997	El número de Reynolds crece en proporción a la velocidad, por lo - tanto el valor de $C_d$ se mantendrá constante e - igual a 1.008, es decir, $C_d$ es independiente del número de Reynolds como se supuso al principio, solo depende del valor del estrangulamiento - (m).	
40	0.824			
80	1.166			
160	1.649			
200	1.843			
300	2.257			
400	2.607			
500	2.914			

$500(\Delta h)$  (cm)

# GRAFICA 1

Características de carga - costo

VENTURA 1 y 4

1983/84

1.515.14.000

400

300

200

100

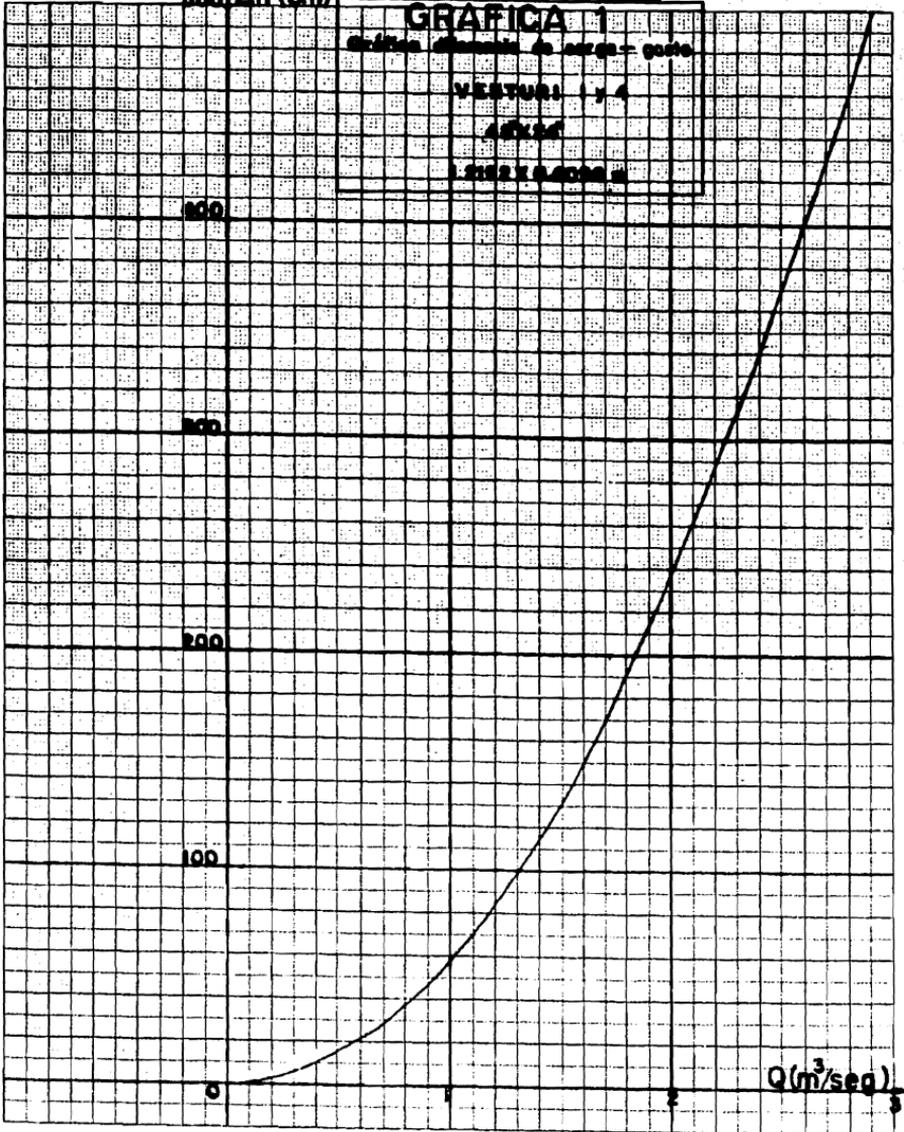
0

1

2

3

$Q(m^3/seg)$



Venturímetros 2 y 3

$$d_1 = 1.2192 \text{ m.}$$

$$d_2 = 0.6604 \text{ m.}$$

$$A_1 = \frac{3.1416 (1.2192)^2}{4} = 1.1675 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{3.1416 (0.6604)^2}{4} = 0.3425 \text{ m}^2$$

$$m = \frac{A_2}{A_1} = \frac{0.3425}{1.1675} = 0.2934$$

Suponiendo que  $C_d$  es independiente de  $Re$ , de la figura 9.2 b de la referencia 1 tenemos:

$$C_d = 1.019$$

En la última columna de la tabla siguiente se hace la modificación en caso de que la suposición resulte errónea.

$\Delta h$ (cm de columna de agua)	$Q$ ( $\text{m}^3/\text{seg}$ )	$v$ ( $\text{m}/\text{seg}$ )	$(v = 0.013 \text{ cm}^2/\text{seg})$	$C_d$
5	0.346	1.01	$5.127 \times 10^5$	1.019
10	0.489	1.43	$7.25 \times 10^5$	1.019
20	0.691	2.02		
40	0.978			
80	1.383			$C_d$ es independiente
100	1.546			del número de Reynolds.
140	1.829			
200	2.186			
260	2.498			
300	2.678			

$\Delta h$  (cm)

## GRAFICA 2

Gráfica muestra la relación entre

VENTURI 2 y 3

45° x 50°

1202 X 0.0204m

400

500

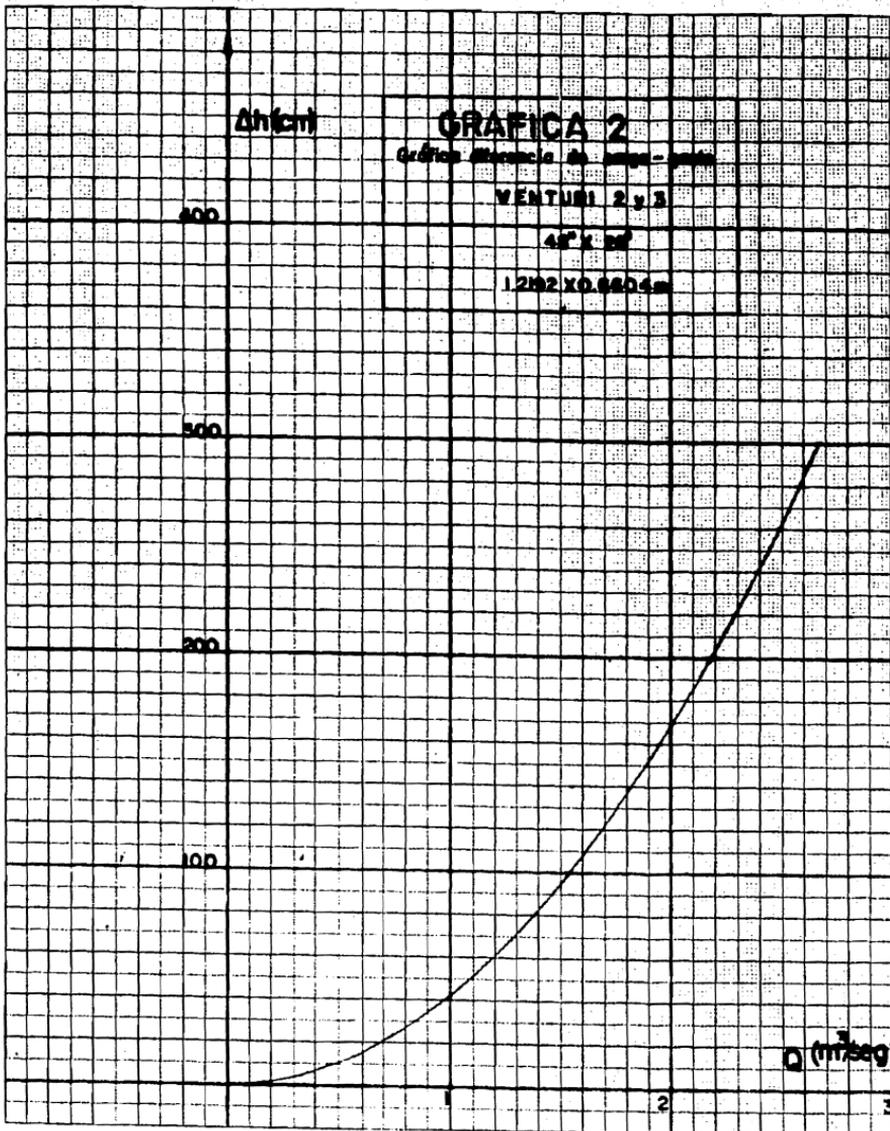
300

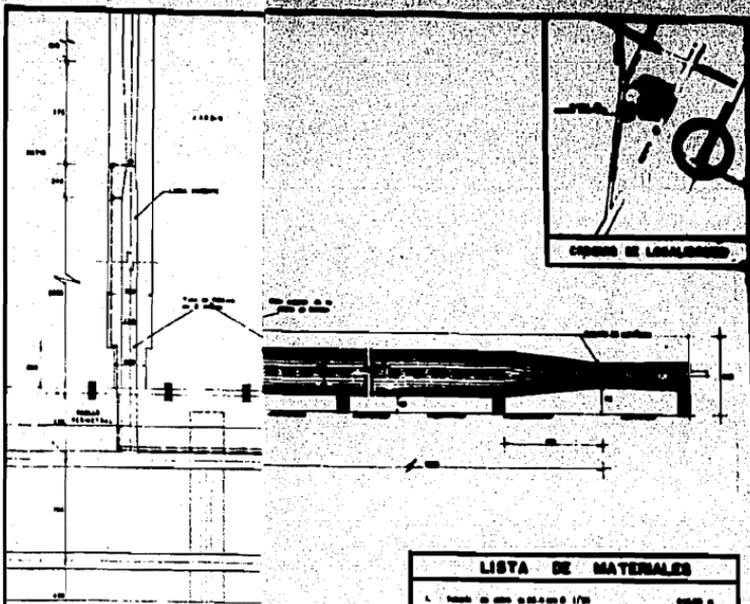
100

Q (m<sup>3</sup>/seg)

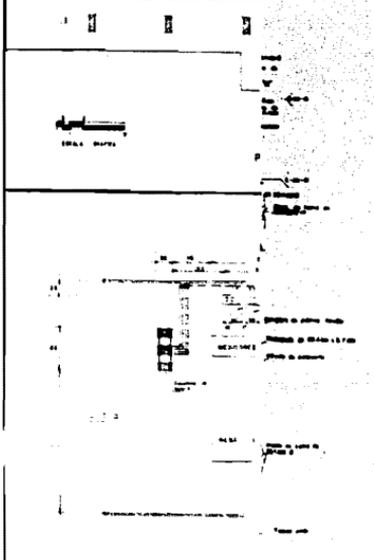
2

3





COPIAS DE LOSA DE BARRAS



CARTELA DE CONTROL  
VER EN  
TUBO

**LISTA DE MATERIALES**

1.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
2.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
3.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
4.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
5.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
6.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
7.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
8.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
9.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
10.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
11.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
12.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
13.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
14.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
15.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
16.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
17.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
18.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
19.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
20.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
21.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
22.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
23.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
24.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
25.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
26.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
27.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
28.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
29.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
30.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
31.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
32.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
33.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
34.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
35.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
36.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
37.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
38.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
39.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
40.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
41.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
42.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
43.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
44.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
45.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
46.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
47.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
48.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
49.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000
50.	Acero de alta resistencia SAE 5140	1700	0.0000

**NOTAS**

1. Los materiales son de los mejores de fabricación de alta calidad.
2. El acabado de la pintura de los materiales es el más adecuado.
3. Los dibujos de esta carpeta deben ser exactos de punto a punto.

# UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA

ALBERTO ARROYO M.

PLANTA DE BOMBEO NOTEPINGO

PLANO 1

## II.2. AFORADORES DE CORRIENTE

Los procedimientos para aforar una corriente se pueden agrupar como sigue:

- 1) Secciones de control
- 2) Relación sección-velocidad
- 3) Relación sección-pendiente

### II.2.1. SECCION DE CONTROL

Una sección de control de una corriente es aquella donde la energía específica del escurrimiento es mínima. Dicha energía está relacionada con el tirante crítico.

La ventaja de utilizar este método es que sólo se requiere conocer el tirante del agua para determinar el gasto.

Tipos de dispositivos de aforo.

Dispositivos estándar

- a) Vertedores
- b) Orificios ahogados
- c) Medidor Parshall

Un dispositivo verdaderamente estándar es uno que ha sido completamente estudiado y calibrado con seguridad, correc

tamente instalado y mantenido suficientemente para satisfacer los requerimientos originales (Ref. 3)

#### Dispositivos no estándar

Casi cualquier cosa que restrinja parcialmente el flujo en una conducción se puede usar como dispositivo de medida - si éste se calibra en forma adecuada. También cualquier estructura de aforo que no haya sido construída, instalada o mantenida correctamente es un dispositivo no estándar.

#### II.2.1.a VERTEDOR

Es una estructura construída transversalmente a un canal abierto sobre el cual se produce el vertido del agua. Es el dispositivo de aforo más útil y económico cuando existe una caída suficiente disponible en el canal y la cantidad de agua por medir no es muy grande.

Es un dispositivo aceptable de aforo debido a que, para un vertedor de tamaño y forma específica con condiciones de escurrimiento permanentes, sólo puede existir un tirante de agua - para un gasto dado. La magnitud del gasto se determina midiendo la distancia vertical desde la cresta del vertedor a la superficie libre del agua, aguas arriba de la cresta y refiriendo esta-

magnitud a cálculos o tablas que se apliquen al tamaño y forma del vertedor.

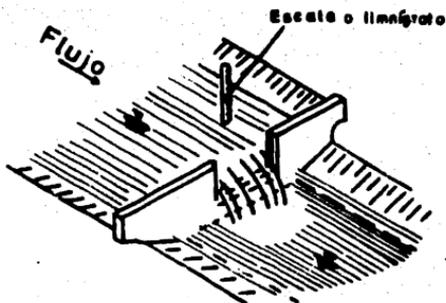


Figura 9

#### 11.2.1.b. ORIFICIO AHOGADO

Es una abertura bien definida de bordes agudos, practicada en una pared, a través de la cual puede ocurrir el flujo. Para usarse como dispositivo de medición se requiere que la superficie del agua, aguas arriba del orificio, quede arriba del borde superior de la abertura.

Para ser usado en la medición de gastos se debe conocer el tamaño, la forma y las cargas actuando sobre él, amén de saber si la descarga es libre o ahogada.

El orificio ahogado es aplicable cuando la descarga disponible está limitada y la cantidad de basura en flotación es mínima.

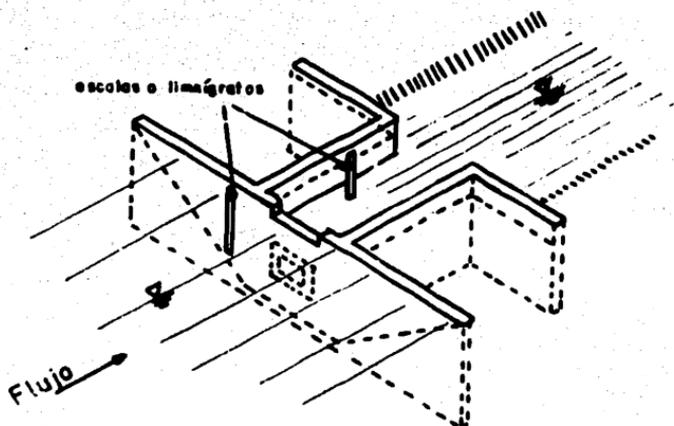


Figura 10

11.2.1.c. COMPUERTAS MEDIDORAS.

Las compuertas se usan generalmente para controlar el -  
gasto que pueda pasar bajo de ellas y por lo tanto se puede -  
utilizar para medir dicho gasto.

Las compuertas son básicamente orificios sumergidos modi-  
ficados, dispuestos de tal manera que el orificio tenga una -  
área ajustable.

La instalación o utilización de una compuerta medidora,  
consiste de un tramo recto de un canal con una compuerta desli

zante, que tenga una hoja de metal redondeada o cuadrada sobre la salida o entrada de dicho canal.

Hay que proporcionar un medio de medición de las cargas aguas arriba y aguas abajo de la compuerta; la diferencia entre las dos mediciones es la carga efectiva de operación de la compuerta y el gasto se puede determinar a partir de ésta diferencia y unas gráficas expofeso que nos relacionen tirantes, aberturas y gastos.

La condición de las compuertas debe ser tal que los indicadores de posición de las compuertas se encuentren en buenas condiciones y muestren las aberturas reales.

#### 11.2.1d. MEDIDOR PARSHALL.

El medidor consiste en una sección transversal de un canal abierto, especialmente formada para que pueda ser instalada en un canal, ramal o zanja para medir el gasto.

El medidor Parshall es una forma particular del medidor Venturi y su nombre se debe al primero que lo desarrolló Ralph L. Parshall.

El medidor Parshall tiene cuatro ventajas importantes: - puede operar con pérdidas de carga relativamente pequeñas. Es

relativamente poco sensible al efecto de la velocidad de llegada. Tiene la capacidad de hacer buenas mediciones sin ahogamiento aguas abajo. Su velocidad de flujo es suficientemente alta para eliminar virtualmente el depósito de sedimentos dentro de la estructura durante la operación.

En adición a las diferentes ventajas en las características de operación descritas anteriormente, el medidor Parshall permite el paso de gastos mayores que aquellos que resulten prácticos con un vertedor, además con menos pérdidas de carga.

El estrangulamiento proporcionado en el canal (Fig.11a), produce una carga diferencial que puede relacionarse con el gasto. La cresta seguida por una plantilla de pendiente descendente da al medidor Parshall su habilidad para resistir grados relativamente altos de ahogamiento sin afectar el gasto.

La sección de entrada se estrecha para lograr que el agua se acelere, obteniéndose de esta manera que no haya depósito de sedimentos, para que no altere las mediciones que se obtengan.

Los tamaños de los vertedores Parshall se diseñan de acuerdo con el ancho de estrangulamiento  $W$  (Fig.11a). Existen diseños de medidores que ya han sido calibrados en la fig. 12 de la referencia 3, pero también es posible hacerlos, calibrándolos por otro medio.

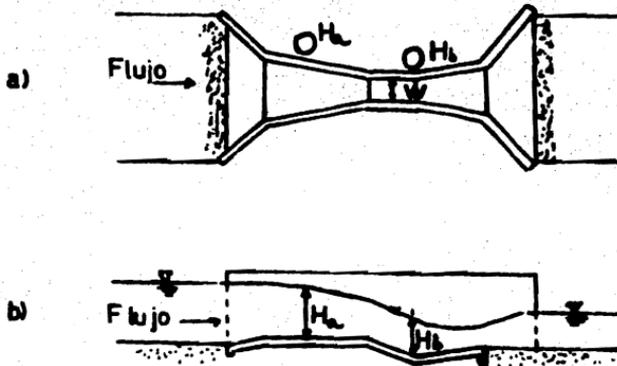


Figura 11

Los medidores pueden ser contruidos de madera, concreto, lámina de metal galvanizado y otros materiales. Los medidores grandes se construyen sobre el sitio, pero los medidores más pequeños pueden obtenerse como estructuras prefabricadas para ser instalados en una sola pieza.

## P R O Y E C T O # 2

## II.2.1.e PROYECTO DE LAS ESTACIONES DE MEDICION EN EL PORTAL DE SALIDA DEL EMISOR CENTRAL.

## a).- ANTECEDENTES

El portal de salida del Emisor Central está localizado en el Edo. de Hidalgo y sus aguas descargan al río "El Salto", y además son conducidas por un canal a la zona de riego de ese estado.

Las estructuras del portal de salida del Emisor Central son tres: compuertas radiales del canal de toma, compuertas deslizantes del desarenador y vertedor de excedencias.

## b).- OBJETIVOS Y ALCANCES

El proyecto está formado por: tres estaciones con limnógrafo para medir niveles de agua y la obtención de las curvas teóricas que relacionen el nivel del agua, con los gastos y la abertura de las compuertas o la altura sobre el cimacio de la cresta vertedora en su caso.

Una estación con limnógrafo se instalará justo en la parte inicial del cimacio de la cresta vertedora en la margen derecha del canal principal. De esta manera, teniendo las curvas -

teóricas de descarga que relacionan la carga sobre la cresta del vertedor y conociendo si el flujo de llegada es perpendicular o paralelo a la cresta, es decir, en el caso de que las compuertas de toma y desarenador estén cerradas o abiertas, se podrá determinar el gasto que está vertiendo.

Esta estación también nos sirve para conocer el gasto que pasa por las compuertas deslizantes del desarenador, - si se tienen las curvas teóricas para diferentes aberturas de compuertas.

Otra estación con limnógrafo se instalará donde termina la curva del canal principal hacia la obra de toma. De esta manera, teniendo las curvas teóricas de descarga, los niveles del agua en el canal de toma y la abertura de las compuertas, se podrá determinar el gasto que es conducido por el canal a la zona de riego.

La última estación con limnógrafo que se instalará - en el portal de salida del Emisor Central se localizará a 100m de las compuertas del desarenador sobre el canal de descarga, - en donde actualmente existen unas escalas para medir los tirantes. Entonces, si medimos el tirante del agua y conociendo la curva de tirante contra gasto en un canal trapezoidal en flujo uniforme, se podrá determinar el gasto que es conducido por dicho canal.

## c).- TRABAJOS REALIZADOS.

Para el cálculo de las curvas teóricas en las compuertas radiales de la obra de toma, primeramente se determi  
nó el gasto que puede transportar en flujo uniforme el canal  
aguas abajo de estas. En base a esos resultados, los cuales  
se muestran en la gráfica No. 3 , se estudió el comportamien  
to del flujo después de las compuertas, resultando que el ti  
rante aguas abajo si influye en el gasto que puede pasar bajo  
de ellas, esto es, la descarga se ahoga.

Una vez conocido ésto, se utilizaron las gráficas  
de las experiencias de A. Toch para obtener el coeficiente -  
de descarga, variando los tirantes para diferentes aberturas.  
En el uso de estas figuras se tuvo la necesidad de extrapolar  
e interpolar debido a los pocos valores experimentales que se  
tienen.

Se utilizó también el método de Knapp para obtener  
los coeficientes de contracción y de gasto en compuertas con  
descarga ahogada; siguiendo la metodología anterior se obtu-  
vieron otras curvas teóricas. Se tiene mayor exactitud en --  
estas últimas curvas al no ser necesario hacer hipótesis sim  
plificatorias y son las que se presentan en el plano No. 3

Para obtener las curvas teóricas de descarga sobre  
la cresta vertedora, se utilizó la fórmula general de descar

ga de un vertedor rectangular, cuya carga de velocidad de llegada es despreciable. Primero suponiendo que las compuertas del desarenador y de la obra de toma estuvieran cerradas para en una dirección perpendicular a la cresta vertedora y luego con la condición de que las compuertas de la obra de toma estuvieran abiertas para que exista un flujo en dirección paralela al vertedor.

Para el cálculo de las curvas teóricas de las compuertas deslizantes del desarenador, primeramente se determinó el gasto que puede transportar en flujo uniforme el canal aguas abajo de éstas. De la misma manera que para las compuertas radiales de la obra de toma, se estudió el comportamiento del flujo después de las compuertas, resultando que el tirante aguas abajo no influye en el gasto que puede pasar bajo de ellas.

Una vez conocido que la descarga es libre se utilizaron las gráficas de las experiencias de Cofré y Buchheister para obtener el coeficiente de descarga, variando los tirantes para diferentes aberturas de compuertas.

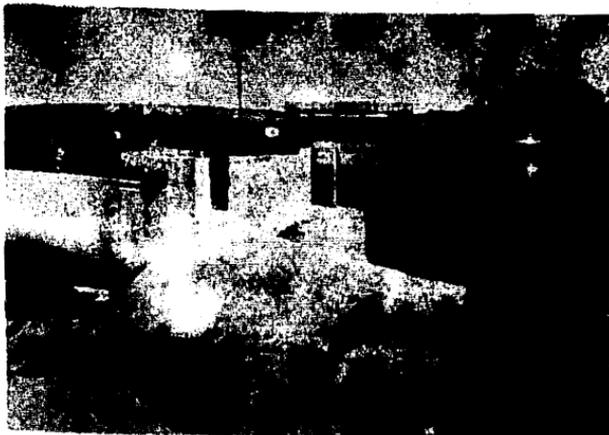
En el campo, se buscó un lugar que quedara directamente en el lecho del canal y que fuera representativo del nivel que se desea medir, además que fuera accesible para que el operador pueda llegar fácilmente al aparato. Se estudia-

ron las condiciones del lugar para que la instalación fuera lo más sencilla y económica, tomando en cuenta su seguridad y estabilidad.

c).- INDICE FOTOGRAFICO



FOTOGRAFIA 3 COMPUERTAS DEL DESARENADOR Y CRESTA VERTEDORA.



FOTOGRAFIA 4 COMPUERTAS DE LA OBRA DE TOMA Y CRESTA VERTEDORA.

d).- MEMORIA DE CALCULO

## COMPUERTAS RADIALES DEL CANAL DE TOMA

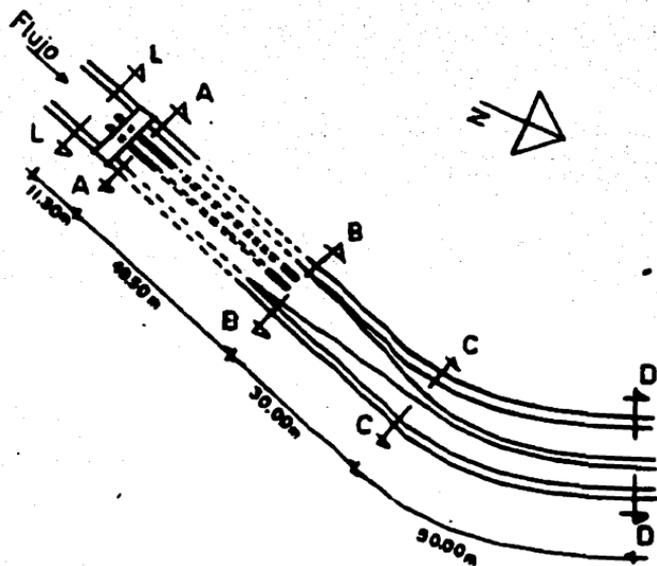
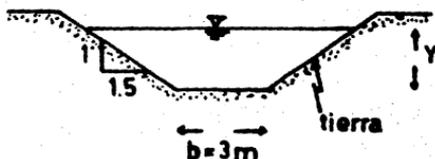


Figura 12

Determinación del gasto que transporta en flujo uniforme el canal trapecial aguas abajo de las compuertas.

## SECCION D-D



$$A = (b + Ky) y.$$

$$P = b + (2\sqrt{1 + K^2}) y.$$

$$S = 0.0002.$$

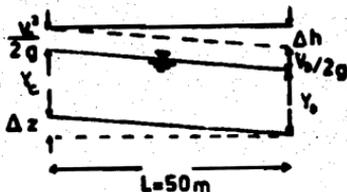
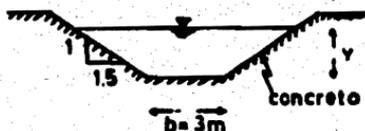
$$K = 1.5$$

$N = 0.025$  corresponde al valor máximo de un canal excavado en tierra limpia después de intemperizada.

$Y_D$	$A_D$	$P_D$	$Rh_D$	$Rh_D^{2/3}$	$Q = \frac{A}{N} Rh^{2/3} S^{1/2}$	$V_D$
5.0	52.5	21.03	2.50	1.84	54.65	1.041
4.0	36.0	17.40	2.07	1.62	33.03	0.918
3.0	22.5	13.80	1.63	1.38	17.62	0.783
2.0	12.0	10.20	1.18	1.11	7.56	0.630
1.5	7.8	8.4	0.94	0.96	4.264	0.542
1.0	4.5	6.6	0.68	0.77	1.97	0.438
0.5	1.8	4.8	0.39	0.53	0.567	0.302

SECCION C-C

41



UTILIZANDO LA ECUACION DE LA ENERGIA

$$\Delta z + Y_C + \frac{v_C^2}{2g} = Y_D + \frac{v_D^2}{2g} + \Delta h$$

Donde:  $\Delta z = 50 (0.0002) = 0.01 \text{ m}$

$$\Delta h = \frac{Sf_C + Sf_D}{2} L$$

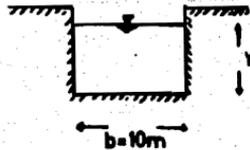
$$Sf = \left( \frac{v_M}{Rh^{2/3}} \right)^2$$

$$v_C = \frac{Q}{(b + K_y) Y}$$

$N = 0.014$  corresponde al valor mínimo de un canal recubierto de concreto sin acabar.

Q	$Y_C$	$A_C$	$V_C$	$P_C$	$Rh_C$	$Rh^{2/3}$	$Sf_C$	$V_C^2/2g$	OBSERVACIONES
54.65	5.00	52.5	1.04	21.0	2.5	1.84	0.00006	0.0552	5.06 = 5.05
33.03	4.00	36.0	0.918	17.4	2.07	1.62	0.00006	0.0429	4.03 = 4.03
17.62	3.00	22.5	0.783	13.8	1.6	1.38	0.00006	0.0313	3.02 = 3.02
7.56	2.00	12.0	0.630	10.2	1.18	1.11	0.00006	0.0202	2.01 = 2.01
4.26	1.50	7.8	0.546	8.4	0.94	0.96	0.00006	0.0152	1.52 = 1.515
1.97	1.00	4.5	0.438	6.6	0.68	0.77	0.00006	0.0098	1.01 = 1.00
0.57	0.50	1.8	0.317	4.8	0.39	0.53	0.00006	0.0051	0.505 = 0.505

## SECCION B-B



UTILIZANDO LA ECUACION DE LA ENERGIA

$$\Delta Z + y_B + \frac{v_B^2}{2g} - 0.1 \frac{|v_C - v_B|^2}{2g} - \frac{sf_C + sf_B}{2} L = y_C + \frac{v_C^2}{2g}$$

Donde:

$$\Delta Z = 0.0002 (30) = 0.006$$

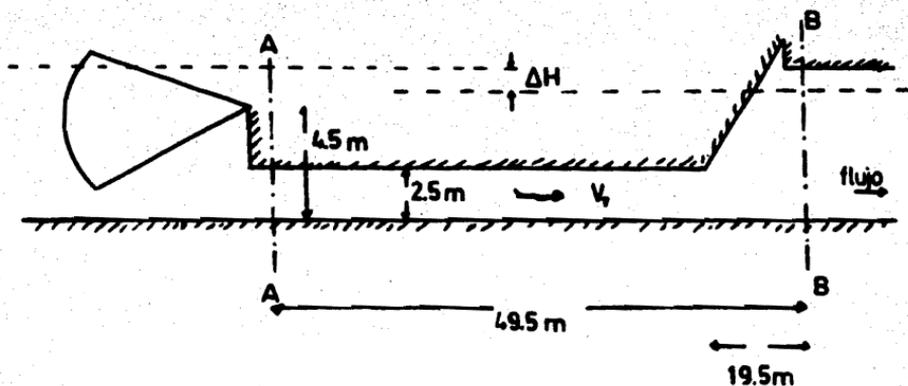
$$A_B = by$$

$$P_B = b + 2Y$$

$$L = 30 \text{ m}$$

$$N = 0.014$$

Q	$y_B$	$A_B$	$v_B$	$P_B$	Rh	Rh <sup>2/3</sup>	$sf_B$	$v_B^2/2g$	OBSERVACIONES
54.65	4.98	49.8	1.097	19.9	2.49	1.839	0.00008	0.0614	5.047 ≠ 5.057
	4.99	49.9	1.095					0.0611	5.057 = 5.057
33.03	4.00	40.0	0.826	18.0	2.22	1.703	0.00005	0.0348	4.041 = 4.045
17.62	3.05	30.5	0.478	16.1	1.89	1.531	0.00003	0.0170	3.073 ≠ 3.034
	3.01	30.1	0.585					0.0175	3.033 ≠ 3.034
7.56	2.02	20.2	0.379	14.0	1.44	1.274	0.00002	0.0071	2.033 ≠ 2.021
	2.01	20.1	0.376					0.0072	2.023 = 2.021
4.26	1.51	15.1	0.282	13.0	1.16	1.104	0.00001	0.0041	1.520 = 1.525
1.97	1.01	10.1	0.195					0.0019	1.018 = 1.019
0.57	0.50	5.0	0.114					0.0007	0.507 = 0.505



$$H = f \frac{L}{D} \frac{V_t^2}{2g} + \frac{|V_t - V_B|^2}{2g}$$

De la tabla 8.1 de la referencia 1 obtenemos la rugosidad absoluta " $\epsilon$ ".

$\epsilon = 3$  Concreto con acabado común.

De la figura 8.4 del libro antes mencionado obtenemos el factor de fricción  $f=0.02$  en base a:  $\epsilon$  y al diámetro " $D$ ".

$$A_t = 3 (2.5) (3) = 22.5 \text{ m}^2$$

$$V_t = \frac{Q}{A_t} \quad P = 3 (2) + 2.5 (2) (3) = 33 \text{ m.}$$

$$R_h = \frac{A}{P} = 0.68 \quad D = 4 R_h \quad D = 2.72 \text{ m.} = 272 \text{ cm.}$$

$$\text{PARA } Q = 54.65 \quad Y_B = 4.99 \quad V_B = 1.095$$

$$\Delta H = (0.02) \frac{49.5}{2.72} \frac{\left(\frac{54.65}{22.5}\right)^2}{2 (9.81)} + \frac{54.65 - 1.095}{22.5} \frac{54.65 - 1.095}{2 (9.81)} = 0.206$$

$$\text{PARA } Q = 33.03 \quad Y_B = 4.0 \quad V_B = 0.826$$

$$\Delta H = (0.02) \frac{49.5}{2.72} \frac{33.03}{2(9.81)} + \frac{33.03 - 0.826}{2(9.81)} = 0.061 \text{ m.}$$

$$\text{PARA } Q = 17.62 \quad Y_B = 3.01 \quad V_B = 0.585$$

$$\Delta H = (0.02) \frac{49.5}{2.72} \frac{(17.62)}{2(9.81)} + \frac{17.62 - 0.585}{2(9.81)} = 0.0114 \text{ m.}$$

$$\text{PARA } Q = 7.56 \quad Y_B = 2.01 \quad V_B = 0.376$$

$$A_B = 3(2.01)(3) = 18.09$$

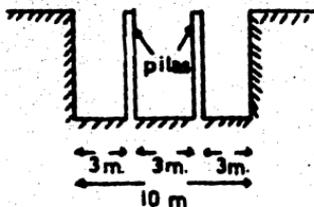
$$P_B = 3 + 2.01(2)(3) = 21.06 \quad R_h = 0.86 \quad D = 3.44 \text{ m.}$$

$$\Delta H = (0.019) \frac{49.5}{3.44} \frac{7.56}{2(9.81)} + \frac{7.56 - 0.376}{2(9.81)} = 0.0026 \text{ m.}$$

PARA GASTOS MENORES A 17.62 m<sup>3</sup>/SEG. EL TUNEL TRABAJA COMO CANAL.

### SECCION A-A

45



$$Y_A = Y_B + \Delta H$$

$$A = bY$$

$$b = b_0 - K_0 H e$$

$$H e = Y$$

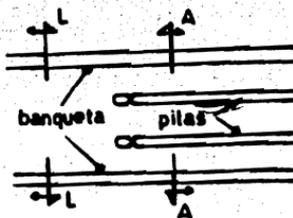
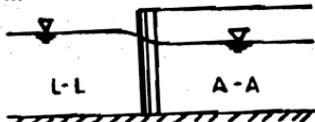
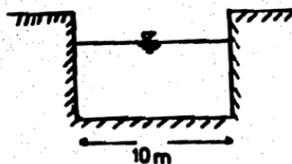
$K = 0.013$  es el coeficiente de contracción por pilas  
y se obtiene de la Fig. 14.11 de la referen-  
cencia 10.

$b_0 =$  claro entre pilas = 9 m

$H = 4 =$  número de contracción por pila (2 por cada pi-  
la)

Q	$Y_A$	b	$A_A$	$V_A$	$V_A^2/2g$
54.65	5.19	8.7301	45.31	1.2062	0.07415
33.03	4.061	8.7888	35.09	0.9254	0.04365
17.62	3.0214	8.8429	26.72	0.6595	0.02217
7.56	2.0126	8.8953	17.90	0.4228	0.00909
4.26	1.510	8.9215	13.47	0.3162	0.00510
1.97	1.010	8.9475	9.04	0.2179	0.00242
0.57	0.50	8.9740	4.48	0.1270	0.00082

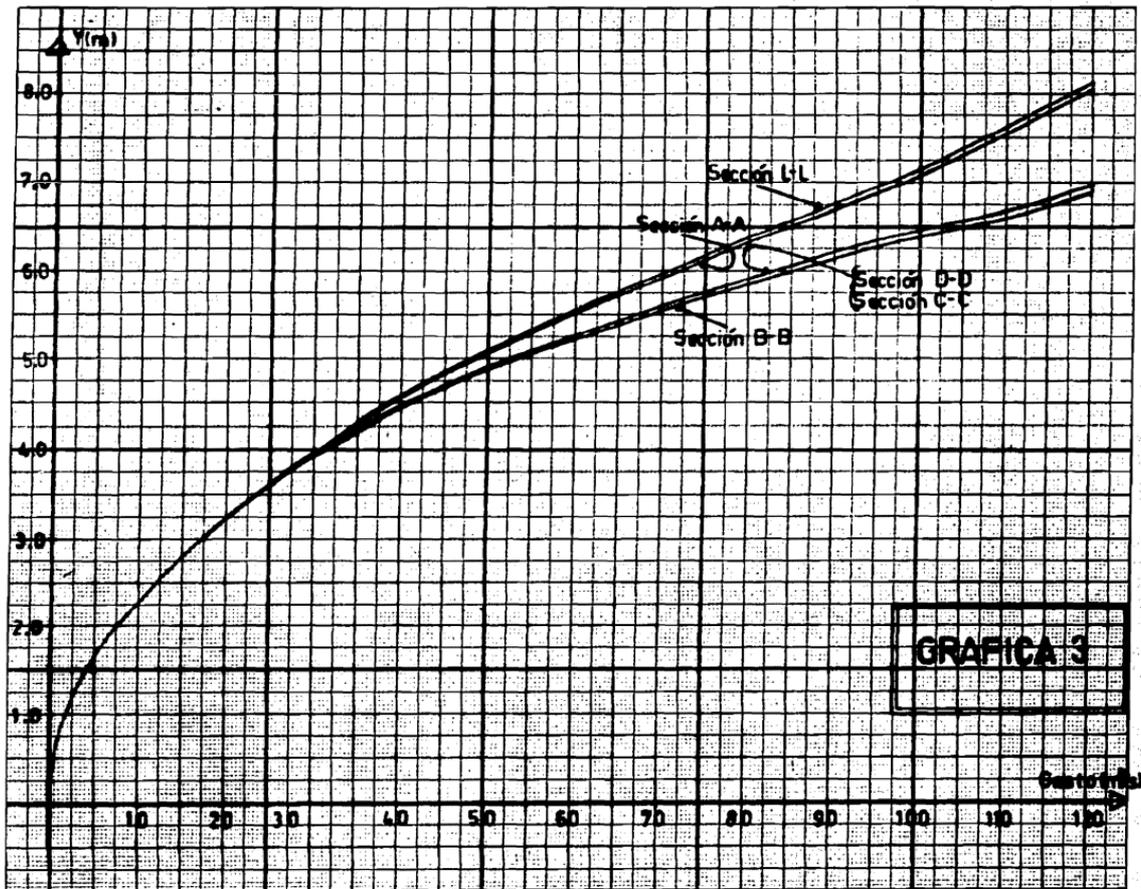
SECCION L-L



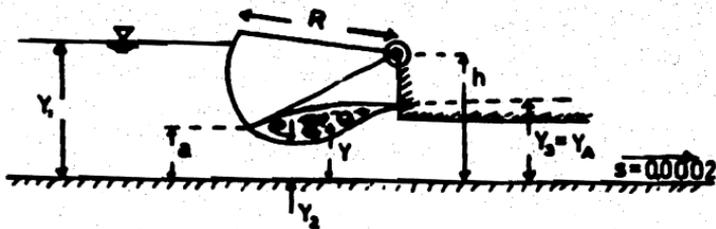
$$y_L + \frac{v_L^2}{2g} = y_A + \frac{v_A^2}{2g}$$

$$A_L = bY = 10y$$

Q	$y_L$	$A_L$	$v_L$	$v_L^2/2g$	$y_A + v_A^2/2g$ OBS.	$y_L + v_L^2/2g$
0.57	0.490	4.9	0.116	0.00069	0.50082	0.49069
	0.500	5.0	0.114	0.00066	0.50082	0.50266
1.97	1.010	10.1	0.195	0.00194	1.01242	1.01194
	1.011	10.11	0.195	0.00193	1.01242	1.01294
4.26	1.510	15.1	0.282	0.00406	1.51510	1.51406
	1.511	15.11	0.282	0.00405	1.51510	1.51505
7.56	2.013	20.13	0.376	0.00719	2.02169	2.02019
	2.014	20.14	0.375	0.00718	2.02169	2.02118
17.62	3.023	30.23	0.583	0.01732	3.04357	3.04032
	3.026	30.26	0.582	0.04357	3.04357	3.04328
33.03	4.065	40.65	0.813	0.03365	4.10465	4.09865
	4.071	40.71	0.811	0.03355	4.10465	4.10455
54.65	5.200	52.00	1.051	0.05629	5.26415	5.25629
	5.208	52.08	1.049	0.05612	5.26415	5.26412



## COMPORTAMIENTO DEL FLUJO DESPUES DE LA COMPUERTA



CONSTANTES  $b = 9\text{m}$   $R = 7.385\text{m}$   $h = 4.5\text{m}$

Si:  $Y_1 = 3.0\text{m}$   $a = 0.5\text{m}$

$$a/R = 0.5/7.385 = 0.07 = 0.10$$

$$h/R = 4.5/7.385 = 0.61$$

$$Y_1/R = 3.0/7.385 = 0.41$$

- 1) Usando la figura 6.23 de la referencia 11, obtenemos el coeficiente de descarga de una compuerta radial según A. Toch.

DE LA GRAFICA  $h/R = 0.5$   $C_d = 0.61$  PARA DESCARGA.

DE LA GRAFICA  $h/R = 0.9$   $C_d = 0.72$  LIBRE

$$\frac{0.72 - 0.61}{0.9 - 0.5} (0.61 - 0.5) = 0.03 + \frac{0.61}{0.64}$$

$$Q = AbCd \sqrt{2gY_1} = 0.5 (9) (0.64) \sqrt{2(9.81) (3.0)} = 22.1 \text{ m}^3/\text{seg}$$

- 2) De la ecuación 6.29 de la referencia 1, obtenemos el coeficiente de velocidad "Cv".

$$C_v = 0.96 + (0.001615 \theta - 0.0475) a/Y_1$$

$$\text{donde: } \frac{a}{Y_1} = \frac{a/R}{Y_1/R} = \frac{0.07}{0.41} = 0.17$$

$$\theta = \text{Ang. Cos. } \left( \frac{h}{R} - \frac{a}{R} \right) = \text{Ang. Cos. } (0.61 - 0.07) = 57.2^\circ$$

$$C_v = 0.96 + [(0.001615) (57.2) - 0.0475] 0.17 = 0.9676$$

- 3) De la ecuación 6.26 b del libro mencionado anteriormente obtenemos el coeficiente de contracción "Cc".

$$C_c = \frac{1}{2} \frac{a}{Y_1} \left( \frac{Cd}{C_v} \right)^2 + \sqrt{\left[ \frac{1}{2} \frac{a}{Y_1} \left( \frac{Cd}{C_v} \right)^2 \right]^2 + \left( \frac{Cd}{C_v} \right)^2}$$

$$= \frac{1}{2} (0.17) \left( \frac{0.64}{0.9675} \right)^2 + \sqrt{\left[ \frac{1}{2} (0.17) \left( \frac{0.64}{0.9675} \right)^2 \right]^2 + \left( \frac{0.64}{0.9675} \right)^2} = 0.707$$

- 4) Obtenemos el conjugado menor.

$$Y_2 = C_c a = 0.707 (0.5) = \underline{0.3535 \text{ m}}$$

$$V_2 = Q/A_2 = 22.3/9 (0.3535) = 7.01 \text{ m/seg}$$

$$Fr_2 = V_2 / \sqrt{Y_2 g} = 7.01 / \sqrt{(0.3535) (9.81)} = 3.76$$

- 5) Usando la ecuación 4.7 de la referencia 2, obtenemos el conjugado mayor.

$$Y_3/Y_2 = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8 F_R^2} - 1 \right)$$

$$Y_3 = \frac{0.3535}{2} \left( \sqrt{1 + 8 (3.76)^2} - 1 \right) = 1.71 \text{ m}$$

De la grafica de gastos en el canal aguas abajo de la com  
puerta, para  $Q = 22.1 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

$$Y_3 = 3.40 \text{ m.}$$

$Y_3 > Y_2$  conjugado.      °° la descarga es ahogada.

- 6) Usando el valor  $Y_3/R = 0.3$  en la figura 6.19 del paso No. 1  
obtenemos un nuevo valor del coeficiente de descarga.

de $h/R = 0.5 \rightarrow Cd = 0.47$	$\frac{0.56 - 0.47}{0.9 - 0.5}$	$(0.61 - 0.5) =$	$0.02475$
de $h/R = 0.9 \rightarrow Cd = 0.56$			$\frac{0.47}{0.49475}$

$$Q = (0.49475) (9) (0.5) \sqrt{9.81 (2) (3.0)} = 17.08 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Caso mas favorable SI  $a = 3\text{m}$  ,  $Y = 1.5 a = 4.5\text{m}$

$$a / R = 3/7.385 = 0.41$$

$$h / R = 4.5/7.385 = 0.61$$

$$Y_1 / R = 4.5/7.385 = 0.61$$

1) De la Fig. 6.23

De la gráfica  $h/R = 0.5 \rightarrow Cd = 0.50$

De la gráfica  $h/R = 0.9 \rightarrow Cd = 0.54$

$$\frac{0.54 - 0.50}{0.9 - 0.5} (0.61 - 0.5) = \frac{0.011 + 0.5}{0.511}$$

$$Q = 3.0 (9.0) (0.511) \sqrt{2 (9.81) (4.5)} = 129.64 \text{ m}^3/\text{seg}$$

2) De la ecuación 6.29

$$\frac{a}{Y_1} = \frac{3/7.385}{4.5/7.385} = 0.667$$

$$\theta = \text{Ang cos } (0.61 - 0.41) = 78.28^\circ$$

$$C_v = 0.96 + [(0.001615) (78.28^\circ) - 0.0475] 0.667 = 1.012$$

El limite superior es  $C_v = 1.0$  como nos hace referencia el libro

3) De la ecuación 6.26 b

$$C_c = \frac{1}{2} \frac{3.0}{4.5} \left( \frac{0.513}{1.0} \right)^2 + \sqrt{\left[ \left( \frac{1}{2} \right) \left( \frac{3.0}{4.5} \right) \left( \frac{0.513}{1.0} \right)^2 \right]^2 + \left( \frac{0.513}{1.0} \right)^2} = 0.6082$$

4) El conjugado menor es:

$$Y_2 = C_c a = 0.6082 (3.0) = 1.8246$$

$$V_2 = 129.64/9 (1.8246) = 7.926$$

$$FR_2 = 7.926 / \sqrt{(1.8246) (9.81)} = 1.873$$

## 5) Conjugado Mayor

$$y_3 = \frac{1.8246}{2} \left( \sqrt{1 + 8 (1.873)^2} - 1 \right) = 4.01 \text{ m}$$

De la gráfica de gastos aguas abajo de la compuerta  
para  $Q = 129.64 \text{ m}^3/\text{seg}$

$$\rightarrow Y_3 = \underline{8.62 \text{ m}}$$

$Y_3 > Y_3$  Conjugado  $\therefore$  La descarga se ahoga.

Por lo tanto el tirante aguas abajo de las compuertas,  
si influye en el gasto que puede pasar por ellas.

Ya se comprobó que existe descarga ahogada; en base a esto, se usará la figura 6.23 de la referencia 11, para obtener el coeficiente de descarga de las radiales, según A. -- Toch en la obtención del gasto que pasa por las 3 compuertas radiales.

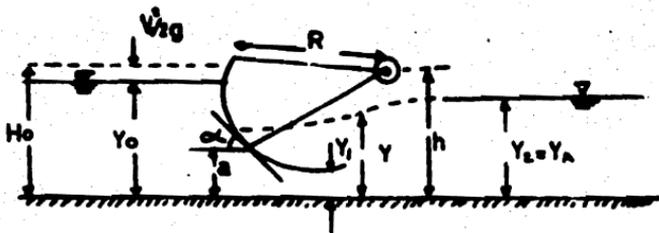
Constantes:  $h = 4.5$  m,  $R = 7.335$  m,  $b = 9$  m, ---

$$g = 9.81 \text{ m/seg}^2, Q = C_{dab} \sqrt{2gY_1}$$

$Y_1$	a	a/R	$Y_1/R$	$Y_3/R$	$C_{d1}$	$C_{d2}$	Cd	Q	$Y_3$	$Y_3/R$	OBSERVACIONES
2.0	0.7	0.1	0.27	0.2	0.27	0.27	0.27	10.6	2.40	0.34	
				0.3							no hay para descarga ahogada
3.0	0.7	0.1	0.41	0.3	0.32	0.365	1.335	16.19	2.95	0.41	12.5 se extrapoló
				0.4	0.18	0.18	0.18	8.7	2.20	0.31	
4.0	0.7	0.1	0.54	0.4	0.37	0.40	0.38	21.2	3.30	0.46	17.2 se extrapoló
				0.5	0.23	0.25	0.237	13.2	2.70	0.38	
5.0	0.7	0.1	0.68	0.5	0.38	0.43	0.396	24.7	3.55	0.497	
6.0	0.7	0.1	0.81	0.5	0.96	0.53	0.483	32.9	4.05	0.56	
7.0	0.7	0.1	0.95	0.6	0.43	0.51	0.456	33.6	4.10	0.57	
				0.55	0.46	0.565	0.494	36.5	4.26	0.6	
3.0	1.4	0.2	0.41	0.4	0.19	0.21	0.197	19.0	3.2	0.45	3.2 > 3.0
				0.3	0.38	0.42	0.393	07.0	3.35	0.47	3.35 > 3.0
4.0	1.4	0.2	0.54	0.5	0.23	0.28	0.246	27.5	3.75	0.52	
5.0	1.4	0.2	0.68	0.6	0.25	0.30	0.266	33.2	4.1	0.57	
6.0	1.4	0.2	0.81	0.7	0.37	0.31	0.329	44.9	4.7	0.66	
7.0	1.4	0.2	0.95	0.7	0.41	0.47	0.429	63.3	5.5	0.76	56.25 se extrapoló
				0.8	0.31	0.38	0.333	44.2	4.85	0.68	
4.0	2.1	0.3	0.54	0.5	0.27	0.295	0.278	31.0	3.975	0.56	
5.0	2.1	0.3	0.68	0.6	0.28	0.38	0.313	58.5	5.30	0.74	44.7
				0.65	0.15	0.20	0.166	30.0	3.95	0.55	
6.0	2.1	0.3	0.81	0.70	0.34	0.40	0.359	73.6	6.00	0.82	57.6 se extrapoló
				0.80	0.19	0.23	0.203	41.6	4.50	0.63	
7.0	2.1	0.3	0.95	0.80	0.36	0.43	0.383	84.8	6.55	0.92	72.9 se extrapoló
				0.90	0.26	0.31	0.276	61.1	5.45	0.76	

5.0	2.8	0.4	0.68	0.7	0.12	0.16	0.133	33.2	4.1	0.57	65.65
				0.6	0.36	0.46	0.393	98.1	7.1	0.99	
6.0	2.8	0.4	0.81	0.7	0.42	0.45	0.43	117.6	7.95	1.11	7.95 > 6.0
				0.8	0.24	0.28	0.253	69.2	5.8	0.8	se extrapoló
7.0	2.8	0.4	0.95	0.8	0.46	0.49	0.47	138.8	9.0	1.26	9.0 > 7.0
				0.9	0.31	0.35	0.323	95.4	7.0	1.00	75.75 se extra
				0.95	0.16	0.24	0.19	56.1	5.2	0.73	poló
6.0	7.5	0.5	0.81	0.8	0.28	0.32	0.294	100.1	7.2	1.0	75.0 se extra-
				0.82	0.14	0.16	0.147	50.3	5.0	0.7	poló
7.0	3.5	0.5	0.95	0.9	0.37	0.43	0.39	143.9	9.3	1.3	9.3 > 7.0
				0.95	0.21	0.23	0.237	87.5	6.7	0.94	se extrapoló

METODOLOGIA Y CROQUIS EXPLICATIVO DEL METODO DE KNAPP PARA  
OBTENER LOS COEFICIENTES DE CONTRACCION Y GASTO.



- 1).- Proponiendo una abertura de compuerta "a", y un gasto "Q", y en base a la gráfica gasto contra tirante - - - aguas abajo de la compuerta obtenemos un  $Y_2$ . Ejemplo: - - -  
 $a = 1.50 \text{ m}$ ,  $Q = 12.50 \text{ m}^3/\text{seg}$        $Y_2 = 2.58 \text{ m}$

$$F_{R2} = \frac{V_2}{\sqrt{gY_2}} = \frac{Q/bY_2}{\sqrt{gY_2}} = \frac{12.50/9(2.58)}{\sqrt{9.81(2.581)}} = 0.1070$$

- 2).- Suponiendo un  $Y_0 = 2.60 \text{ m}$

$$V_0 = \frac{Q}{bY_0} = \frac{12.50}{9(2.60)} = 0.5342$$

$$H_0 = Y_0 + \frac{V_0^2}{2g} = 2.6 + \frac{(0.5342)^2}{2(9.81)} = 2.6145$$

$$3).- \frac{a}{H_o} = \frac{1.5}{2.6145} = 0.5737 \quad \frac{a}{R} = \frac{1.5}{7.385} = 0.2031 \quad \frac{h}{R} = \frac{4.50}{7.385} = 0.609$$

$$\alpha = \text{Ang. Cos.} \left( \frac{h}{R} - \frac{a}{R} \right) = \text{Ang. Cos.} (0.609 - 0.2031) = 66.03$$

4).- Usando la figura 282 de la referencia 8, se obtiene el coeficiente de contracción " $\mu$ ", con la relación  $a/H_o$ , con la limitante que:

$$a/H_o < 0.637$$

o con la ecuación:

$$\mu = 1.06 \left( N \pm \sqrt{N^2 - A} \right)$$

donde:

$$N = \frac{1}{a/H_o} = \frac{H_o}{a}$$

$$\left[ N (\hat{\delta}) - \left( \frac{1 - \text{Cos. } \alpha}{\text{Sen. } \alpha} \right) \right] \quad (2N-1)$$

$$A = \frac{N(1 + \hat{\delta} - \text{Cos. } \alpha) - \left( \frac{1 - \text{Cos. } \alpha}{\text{Sen. } \alpha} \right) - 1/2 \left( \frac{\hat{\delta}}{\text{Sen. } \alpha} - \text{Cos. } \alpha \right)}$$

$\hat{\delta}$  - en radianes

Para el ejemplo:	$\hat{\delta} = 1.1524$	
	$\alpha = 65.19$	$\mu_1^+ = 3.063057$
	$N = 1.7430$	
	$A = 1.72335$	$\mu_2^- = 0.632165$

De la figura . . . . .  $\mu = 0.633$

5).- De la ecuación 360 de la misma referencia se obtiene el coeficiente de velocidad.  $\psi$

$$\begin{aligned}\psi &= 0.960 + (0.0017 \alpha - 0.050) a/Ho \\ &= 0.960 + \left[ 0.0017 (66.03) - 0.050 \right] (0.5737) = 0.994896\end{aligned}$$

De la ecuación 358-1 de susodicha referencia se obtiene el coeficiente de pérdidas.

$$\begin{aligned}0 &= \psi^2 + \mu \frac{a}{Ho} (1 - \psi^2) \\ &= (0.995)^2 + 0.632165 (0.5737) \left[ 1 - (0.995)^2 \right] = 0.993511\end{aligned}$$

6).- De la figura 299 de la referencia anteriormente mencionada obtenemos la relación:

$$\frac{Ho - Hv}{Y_2} \quad \text{con} \quad \frac{\mu a}{Y_2} \quad \text{y} \quad Fr$$

o con la ecuación:

$$Ho - Hv = \left[ \sqrt{1 + 2 Fr^2 \left( 1 - \frac{Y_2}{\mu a} \right)} \right] Y_2 + \frac{1}{2g} \left( \frac{q}{\mu a} \right)^2$$

para el ejemplo:

$$Ho - Hv = \left[ \sqrt{1 + 2 (0.1070)^2 \left( 1 - \frac{2.58}{0.632165 (1.50)} \right)} \right] (2.58) +$$

$$\frac{1}{2(9.81)} \left( \frac{12.50/9}{0.632165 (1.50)} \right)^2 = 2.6380$$

o con la figura  $\frac{\mu a}{Y_2} = 0.368$  y  $Fr = 0.1070$

$$\frac{H_o - H_v}{Y_2} = 1.025 \Rightarrow H_o - H_v = 2.445$$

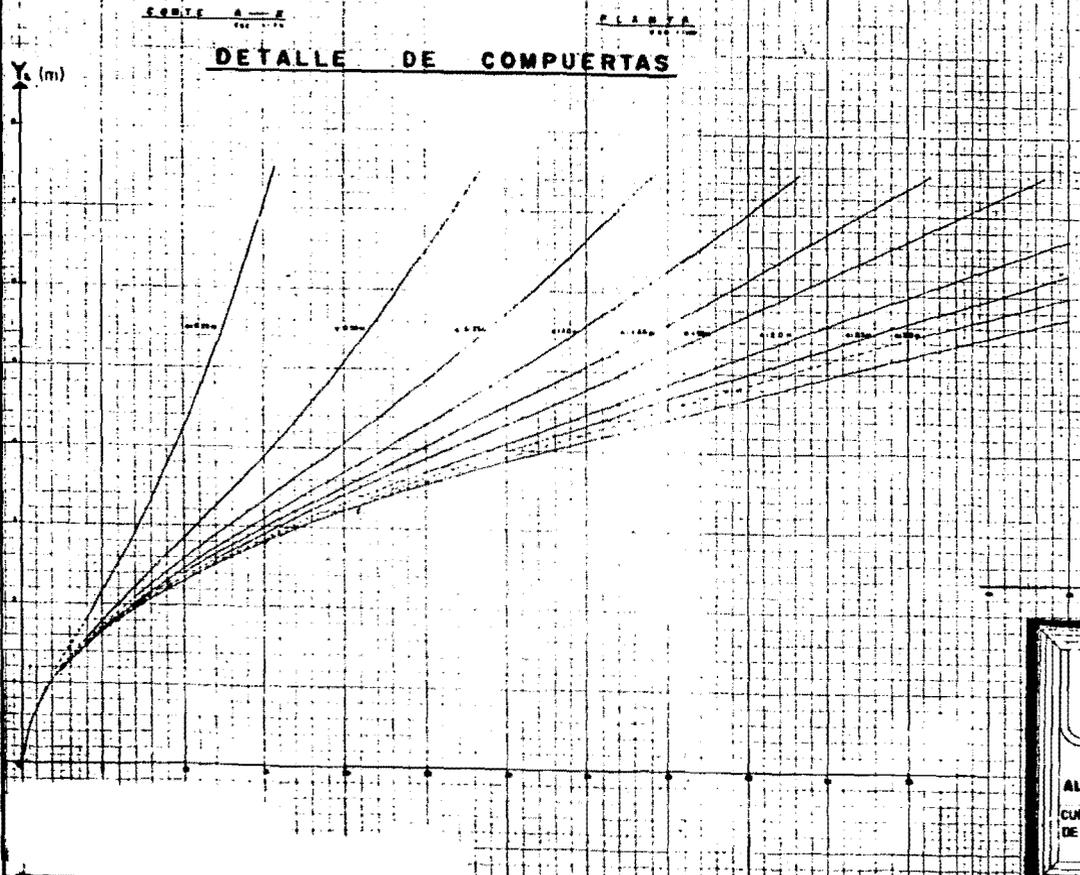
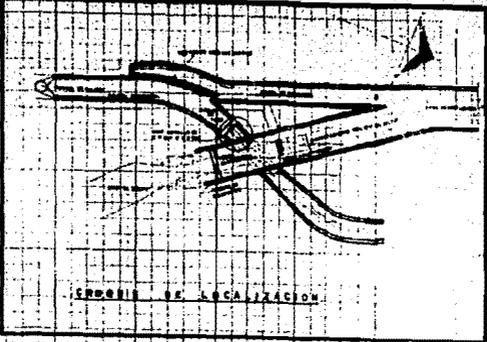
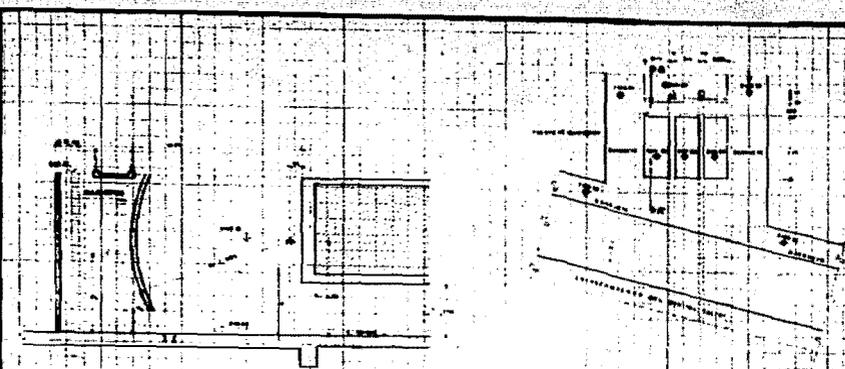
$$7).- H_o = \frac{H_o - H_v}{\theta} = \frac{2.6380}{0.993511} = 2.655$$

8).- Se supone un nuevo  $Y_o$  hasta que el  $H_o$  del paso 2 sea igual al  $H_o$  del paso 7.

Una vez que el valor de  $H_o$  de los pasos 2 y 7 sean -- iguales, lo cual se obtiene con dos interacciones más a lo sumo, se propone un nuevo valor del gasto con la misma abertura de - compuerta "a" y se sigue la misma metodología descrita.

De esta forma se barre con una serie de gastos que sean factibles que pasen bajo las compuertas; luego se da otra abertu- ra de compuerta y se vuelven a proponer gastos y se sigue la me- todología descrita anteriormente.

Las curvas obtenidas para una serie de valores, apare-- cen en el plano.



**NOTAS GENERALES**

1. El presente estudio se realizó en el laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, en el mes de mayo de 1968.
2. El modelo de las compuertas radiales se construyó a escala de 1:10.
3. El modelo se construyó con un material rígido y no deformable.
4. Para la obtención de las curvas de descarga se utilizó el método de la línea de agua.
5. El punto de la compuerta, como se muestra en el croquis, fue el punto de medición de la carga.
6. Para obtener las curvas de descarga se utilizó el método de la línea de agua.
7. Para la obtención de las curvas de descarga se utilizó el método de la línea de agua.
8. El punto de la compuerta, como se muestra en el croquis, fue el punto de medición de la carga.
9. Para obtener las curvas de descarga se utilizó el método de la línea de agua.
10. El punto de la compuerta, como se muestra en el croquis, fue el punto de medición de la carga.

**UNAM**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ALBERTO ARROYO M.**  
**CURVAS DE DESCARGA DE LAS COMPUERTAS RADIALES PLANO 3**

## VERTEDOR DE EXCEDENCIAS

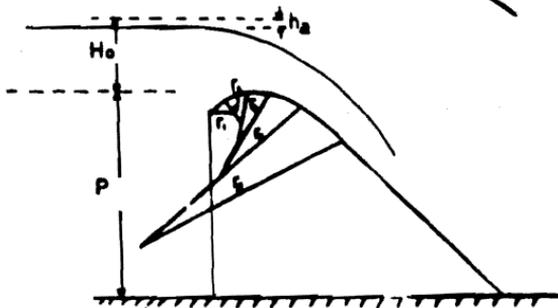
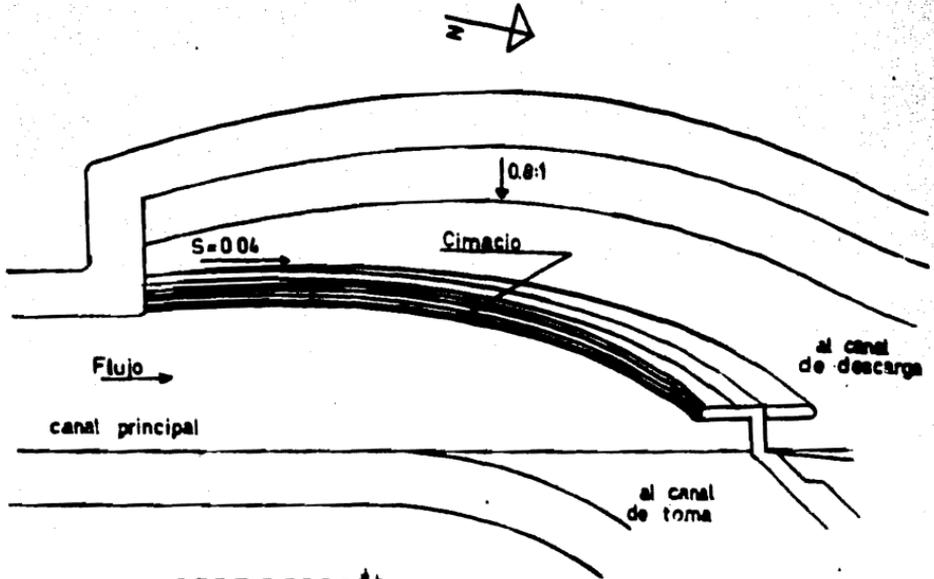


Figura 13

Perfil del cimacio

## DETERMINACION DE LA CARGA DE DISEÑO DEL CIMACIO

De la figura 188 de la referencia 5 para una cresta con un paramento de aguas arriba vertical y velocidad de llegada despreciable tenemos:

$$R_1 = 0.235 H_o$$

$$R_2 = 0.530 H_o$$

$$R_3 = 0.825 H_o$$

$$R_4 = 1.410 H_o$$

$$R_5 = 2.800 H_o$$

Ecuaciones 1

Con los datos del vertedor obtenidos del plano de la geometría general de la obra derivadora de la descarga del Emisor Central.

$$R_1 = 0.3525$$

$$R_2 = 0.7950$$

$$R_3 = 1.2370$$

$$R_4 = 2.1150$$

$$R_5 = 4.2000$$

Ecuaciones 2

Igualando las ecuaciones 1 y 2 tenemos:

$$H_{R1} = 1.5$$

$$H_{R2} = 1.5$$

$$H_{R3} = 1.499$$

$$H_{R4} = 1.5$$

$$H_{R5} = 1.5$$

$$H_0 = \text{CARGA DE DISEÑO} = 1.5 \text{ m}$$

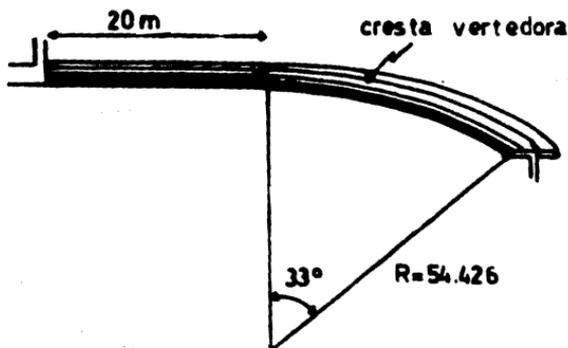
Para obtener la descarga sobre una cresta de cimacio se utiliza la fórmula general de descarga de un vertedor rectangular cuya carga de velocidad de llegada es despreciable.

$$Q = C L H e^{3/2}$$

Con la condición de tener las compuertas cerradas, es decir, el agua sólo pasa por la cresta vertedora.

Para el caso de tener las compuertas abiertas, el valor anterior se multiplica por un factor K de reducción debido a que el flujo va en dirección paralela al vertedor.

#### DETERMINACION DE LA LONGITUD DE LA CRESTA VERTEDORA "L"



$$L = \alpha R$$

$$\hat{\alpha} = \text{Radianes} = 0.576$$

$$L = 0.576 (54.426) = 31.347 \text{ m}$$

$$\text{Longitud total} = L_T = 20 + 31.347 = 51.347 \text{ m}$$

#### DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE DESCARGA

De la figura 189 de la misma referencia se obtiene el coeficiente de descarga para las crestas de cimacio en pared vertical para la carga de diseño en base a la relación:

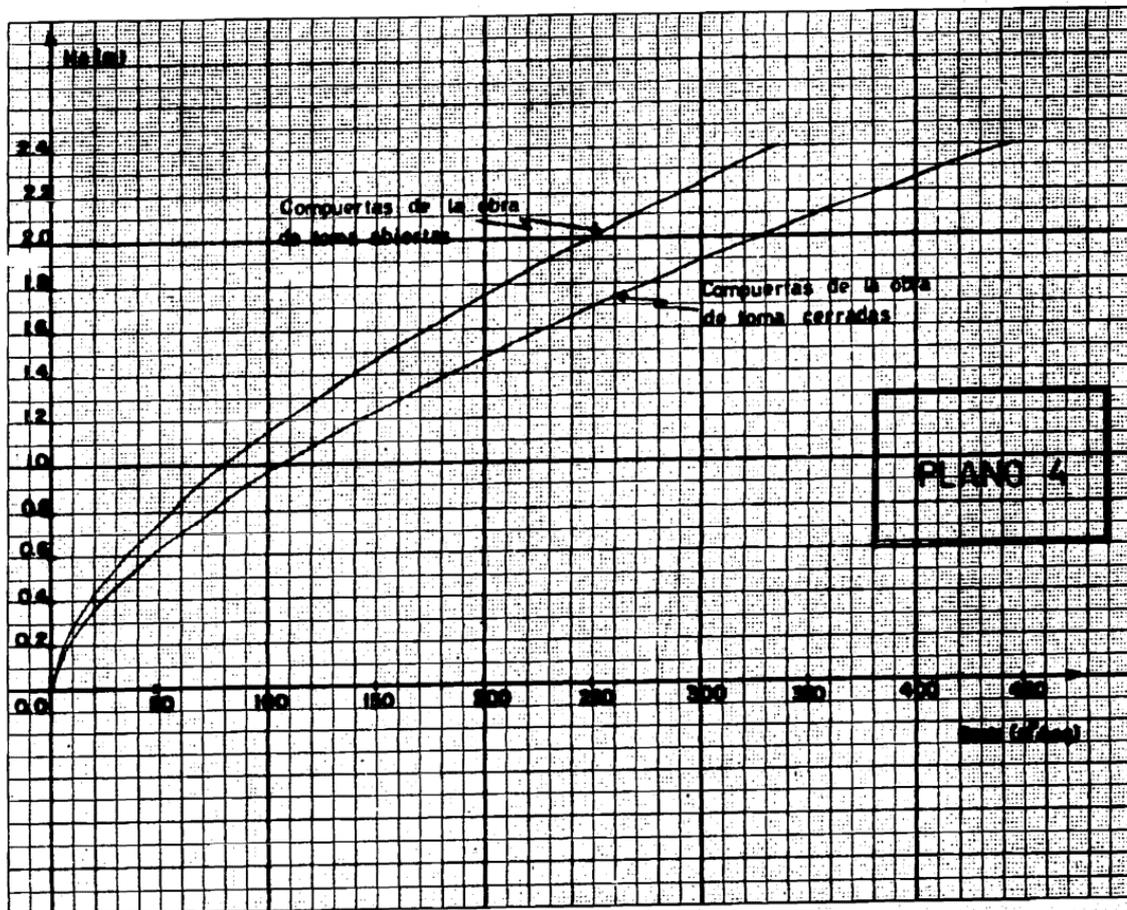
$P/H_o$

$$\frac{P}{H_o} = \frac{6.14}{1.50} = 4.09 \Rightarrow C_o = 3.95 \frac{\text{ft}^{1/2}}{\text{seg}}$$

$$C_o = 3.95 (\sqrt{0.3048}) = 2.18 \text{ m}^{1/2} / \text{seg.}$$

**OBTENCION DEL GASTO QUE SE DESCARGA SOBRE LA  
CRESTA DEL CIMACIO**

He/Hd	C/Co	Cd	He (m)	Q (m <sup>3</sup> /seg)	KQ (m <sup>3</sup> /seg)
0.1	0.821	1.7904	0.15	5.3407	4.0360
0.2	0.851	1.8558	0.30	15.6579	11.8326
0.3	0.878	1.3147	0.45	23.6780	22.4276
0.4	0.900	1.9627	0.60	46.8371	35.3948
0.5	0.920	2.0063	0.75	66.9114	50.5650
0.6	0.938	2.0455	0.90	89.6783	67.7699
0.7	0.956	2.0848	1.05	115.1761	87.0387
0.8	0.973	2.1219	1.20	143.2206	108.2318
0.9	0.987	2.1524	1.35	173.3559	131.0051
1.0	1.000	2.1807	1.50	205.7110	155.4569
1.1	1.011	2.2047	1.65	239.9373	181.3207
1.2	1.025	2.2353	1.80	277.1745	209.4609
1.3	1.038	2.2636	1.95	316.4973	239.1771
1.4	1.049	2.2876	2.10	357.4581	270.1312
1.5	1.060	2.3116	2.25	400.5902	302.7262
1.6	1.070	2.3384	2.40	445.4730	336.6441



## COMPUERTAS DESLIZANTES DEL DESARENADOR

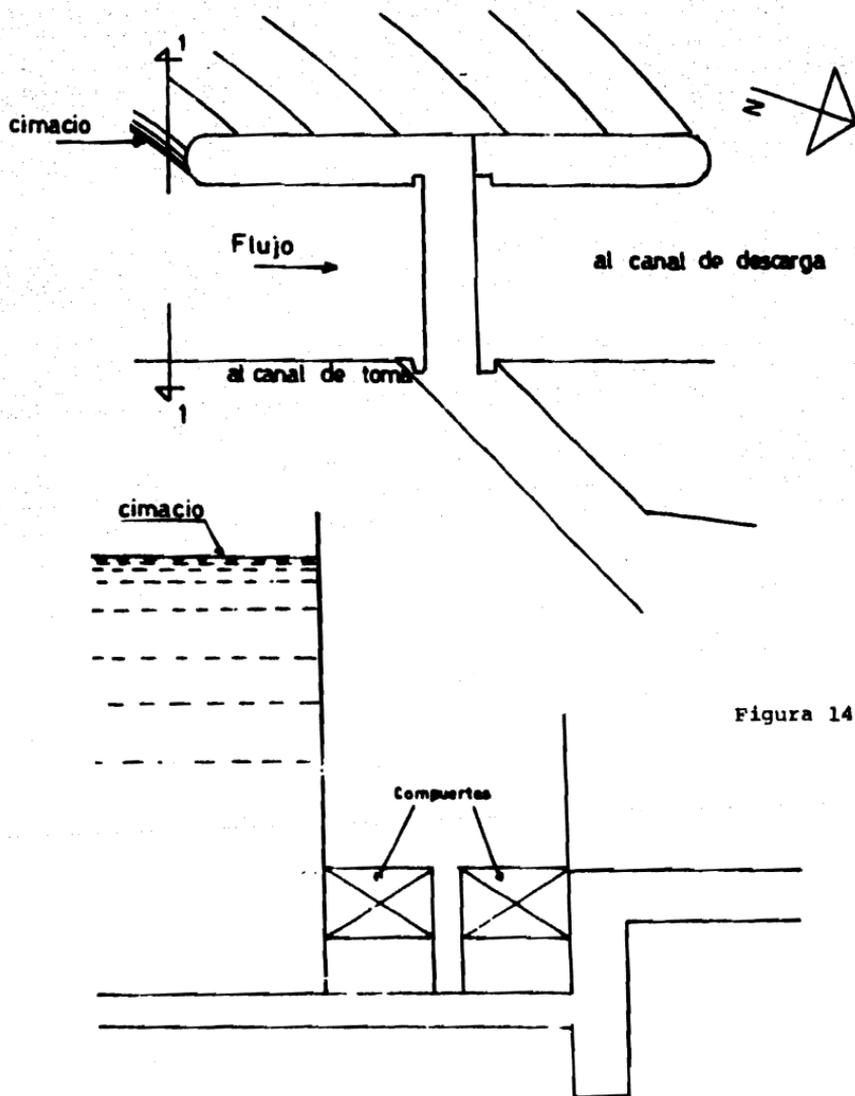
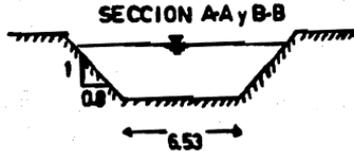


Figura 14

Corte 1-1

Determinación del gasto que transporta en flujo uniforme el canal trapecial aguas abajo de la compuerta.



$$s = 0.008$$

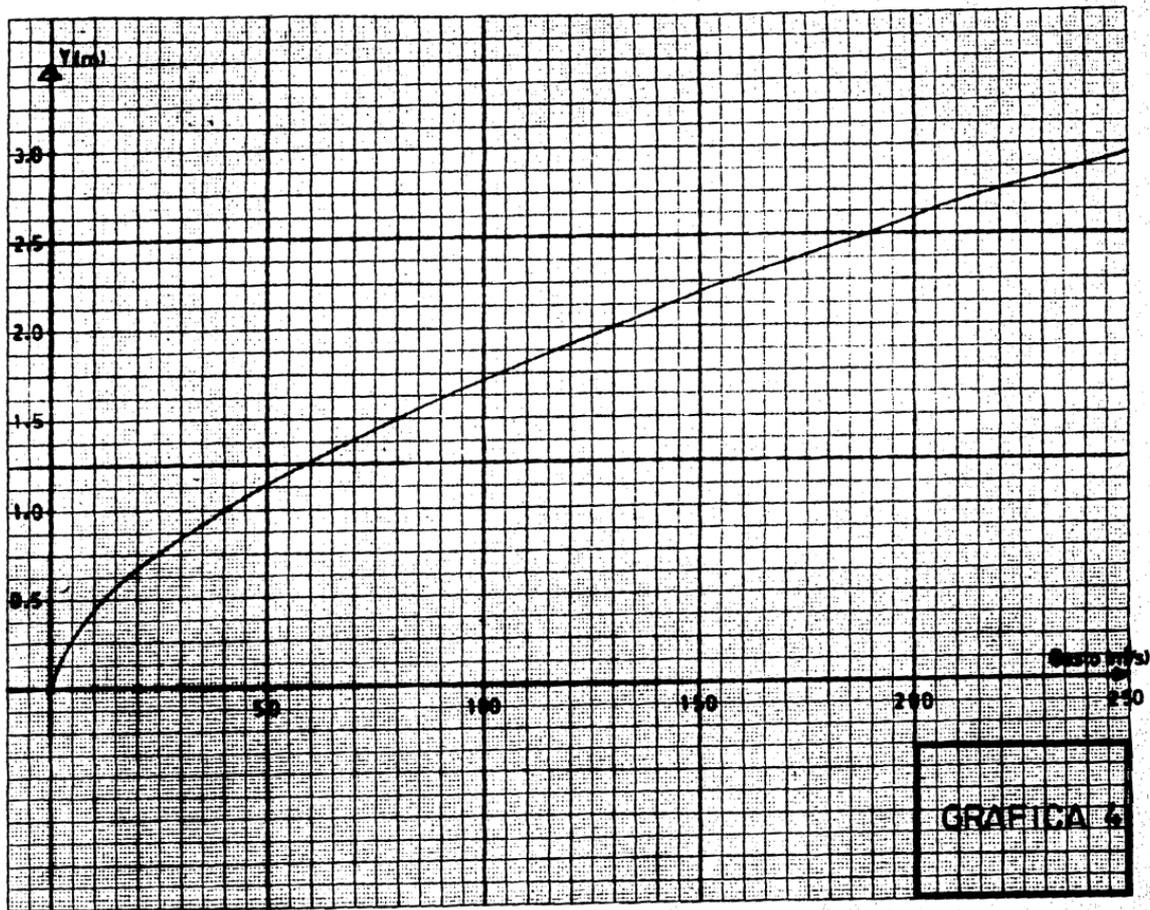
$n = 0.014$  Que corresponde al valor mínimo de un canal recubierto de concreto sin acabar.

$$A = (b + ky) y$$

$$P = b + \left( 2\sqrt{1 + k^2} \right) y$$

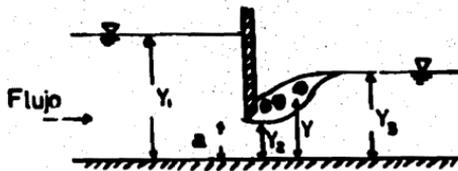
$$R_h = A/P$$

$Y_A$	$A_A$	$P_A$	$R_{hA}$	$R_{hA}^{2/3}$	$Q = \frac{A^{2/3}}{n} R_h^{1/2} S$	$V_A$	$V_A^2/2g$
7.0	84.91	24.46	3.47	2.293	1243.73	14.65	10.935
6.0	67.98	21.89	3.10	3.128	924.25	13.60	9.421
5.0	52.65	19.34	2.72	1.950	655.90	12.46	7.910
4.0	38.92	16.77	2.32	1.753	435.77	11.20	6.390
3.0	26.79	14.21	1.88	1.526	261.16	9.75	4.844
2.5	21.33	12.93	1.65	1.396	190.15	8.92	4.050
2.0	16.26	11.65	1.39	1.249	129.72	7.98	3.244
1.5	11.60	10.37	1.12	1.077	79.79	6.88	2.411
1.25	9.41	9.73	0.97	0.978	58.81	6.25	1.991
1.00	7.33	9.10	0.81	0.866	40.56	5.53	1.561
0.75	5.35	8.45	0.63	0.737	25.18	4.71	1.129
0.50	3.46	7.81	0.44	0.582	12.86	3.72	0.706
0.25	1.68	7.17	0.23	0.380	4.09	2.44	0.303



GRAFICA 6

## COMPORTAMIENTO DEL FLUJO DESPUES DE LA COMPUERTA



$$b = 3.06 \text{ m}$$

$$n = 0.015$$

$$S = 0.008$$

Para:  $a = 0.5 \text{ m}$  ,  $Y_1 = 4.50 \text{ m}$

1).-  $\frac{Y_1}{a} = \frac{4.5}{0.5} = 9$  Usando la figura 6.16 de la referencia 1 obtenemos  $C_d = 0.595$

$$Q = abC_d \sqrt{2gY_1} = 0.5 (3.06) (0.595) \sqrt{(2) (9.81) (4.50)} = 8.554$$

2).-  $C_v = 0.960 + 0.097 \left( \frac{a}{Y_1} \right) = 0.960 + 0.0979 \left( \frac{0.5}{4.5} \right) = 0.97088$

$$C_c = \frac{1}{2} \left( \frac{a}{Y_1} \right) \left( \frac{C_d}{C_v} \right)^2 + \sqrt{\left[ \frac{1}{2} \left( \frac{a}{Y_1} \right) \left( \frac{C_d}{C_v} \right)^2 \right]^2 + \left( \frac{C_d}{C_v} \right)^2}$$

$$= \frac{1}{2} \left( \frac{0.5}{4.5} \right) \left( \frac{0.595}{0.97088} \right)^2 + \sqrt{\left[ \frac{1}{2} \left( \frac{0.5}{4.5} \right) \left( \frac{0.595}{0.97088} \right)^2 \right]^2 + \left( \frac{0.595}{0.97088} \right)^2} = 0.634$$

3).-  $Y_2 = C_c a = 0.634 (0.5) = \underline{0.317} \text{ m}$  Conjugado menor

$$v_2 = \frac{Q}{b(Y_2)} = \frac{8.554}{3.06 (0.317)} = 8.818 \quad Fr_2 = \frac{v_2}{\sqrt{gY_2}} =$$

$$= \frac{8.818}{9.81 (0.317)} = 5.00$$

$$4) \text{.- } \frac{Y_3}{Y_2} = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8 (5.0)^2} - 1 \right) \rightarrow Y_3 = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 8 (5.0)^2} - 1 \right)$$

$$(0.317) = \underline{2.090 \text{ m}} \quad \text{Conjugado mayor}$$

De la gráfica de gastos en el canal para  $Q = 8.554 \text{ m}^3/\text{seg.}$

$$Y_3 = \underline{0.40 \text{ m}}$$

$Y_3 < Y_2$  Conjugado  $\circ$  la descarga no se ahoga

Para: Condición más desfavorable  $Q = 0.25 \text{ m}^3/\text{seg.}$   $Y_1 = 7.9 \text{ m}$

$$1) \text{.- } \frac{Y_1}{a} = \frac{7.9}{0.25} = 31.6 \quad \text{de la Fig. 6.16} \rightarrow \text{cd} = 0.6$$

$$Q = 0.25 (3.06) (0.6) \sqrt{2 (0.81) (7.9)} = 5.7145 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$2) \text{.- } C_v = 0.960 + 0.0979 \left( \frac{0.25}{7.90} \right) = 0.963$$

$$C_c = \frac{1}{2} \left( \frac{0.25}{7.90} \right) \left( \frac{0.6}{0.963} \right)^2 + \sqrt{\left[ \frac{1}{2} \left( \frac{0.25}{7.90} \right) \left( \frac{0.6}{0.963} \right)^2 \right]^2 + \left( \frac{0.6}{0.963} \right)^2} = 0.6292$$

$$3) \text{.- } Y_2 = C_c a = 0.6292 (0.25) = \underline{0.1573 \text{ m}} \quad \text{Conjugado menor}$$

$$V_2 = \frac{5.7145}{3.06 (0.1573)} = 11.872$$

$$Fr_2 = \frac{11.872}{\sqrt{9.81 (0.1573)}} = 9.56$$

$$4).- Y_3 = \frac{0.1573}{2} \left( \sqrt{1 + 8 (9.56)^2} - 1 \right) = 2.049 \text{ m Conjugado mayor}$$

De la gráfica de gastos en el canal aguas abajo de la compuerta para  $Q = 5.7145 + 155.4559 = 161.1704 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , que es la suma del gasto que pasa por la compuerta y el vertedor con su máxima carga, tenemos:  $Y_3 = \underline{2.27 \text{ m}}$

$Y_3 > Y_3$  Conjugado  $\circ\circ$  la descarga se ahoga, pero al buscar la relación de  $Y_1/a = 31.6$  que se interseque con la relación  $Y_3/a = 9.08$  vemos que no aparecen ya graficadas, por lo que se considera como coeficiente de descarga "Cd", el mismo antes utilizado, es decir para descarga libre.

DETERMINACION DEL GASTO QUE PASA POR EL ESPACIO DE LAS COMPUERTAS SUPONIENDO QUE ESTAN TOTALMENTE ABIERTAS.

$$Q = \frac{2}{3} b \sqrt{\frac{1}{3}} \sqrt{2g} Y^{2/3} \quad Q = 1.704895 b Y^{3/2}$$

$$b = 3.06 \text{ m}$$

Y	$Y^{3/2}$	Q
0.25	0.125	0.652
0.50	0.354	1.844
0.75	0.650	3.389
1.00	1.000	5.217
1.25	1.398	7.291
1.50	1.837	9.584
1.75	2.315	12.077
2.00	2.828	14.756

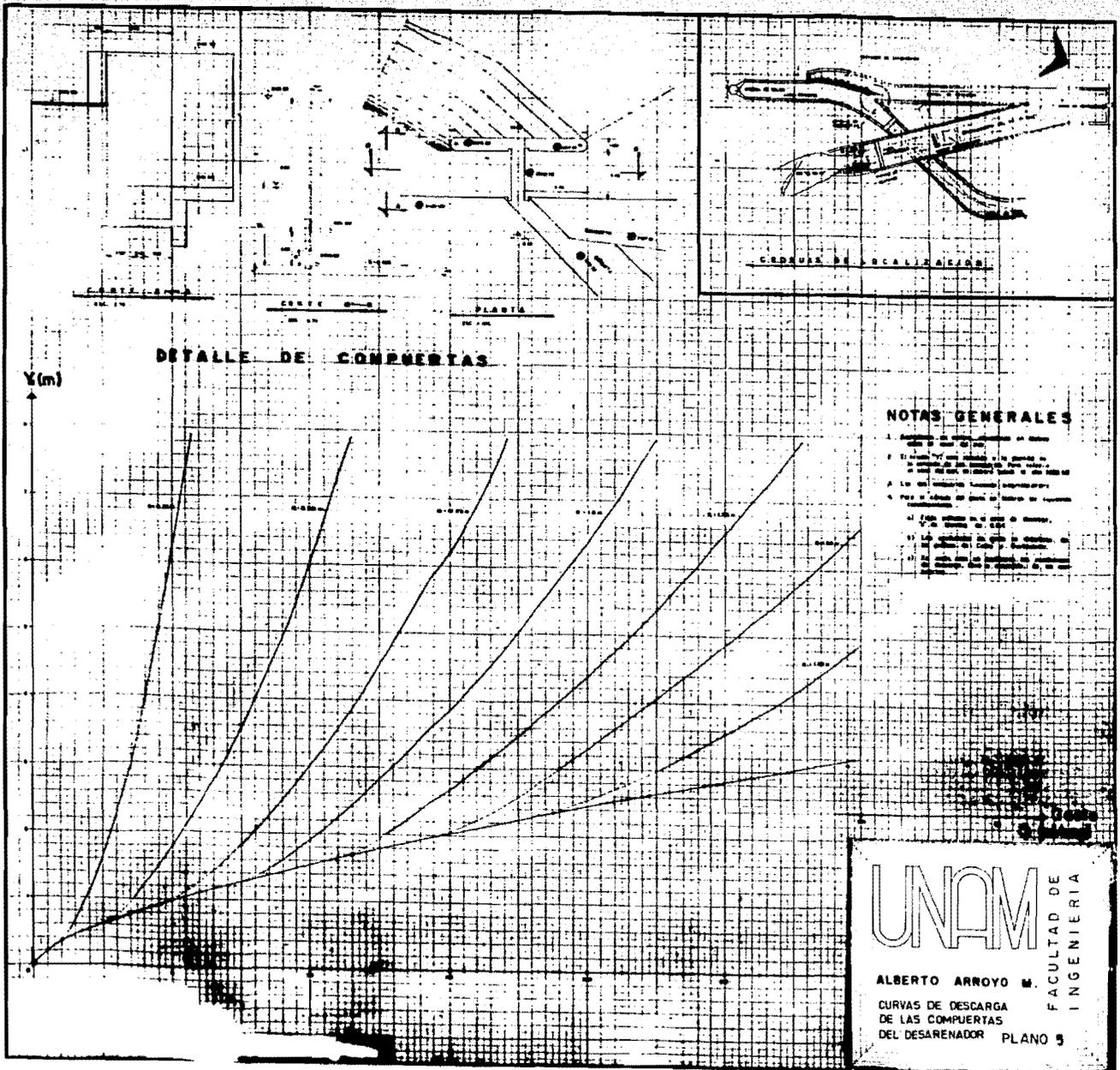
DETERMINACION DEL GASTO QUE PASA POR LAS COMPUERTAS DESLI-  
ZANTES UTILIZANDO EL COEFICIENTE DE GASTO DE LA FIGURA 6.16  
DE LA REFERENCIA 1, DE LAS EXPERIENCIAS EN COMPUERTAS PLA-  
NAS VERTICALES DE COFRÉ Y BUCHHEISTER.

$$Q = C_d a b \sqrt{2g Y_1} \quad b = 3.06 \text{ m}$$

a	$Y_1$	$Y_1/a$	$C_d$	Q	Qvert	Qtotat	$Y_3$	$Y_3/a$	Observaciones
0.25	0.50	2	0.54	1.294	0	1.294	0	0	la primera suposición es de des- carga libre
	1.00	4	0.57	1.9315					
	1.50	6	0.585	2.407					
	2.00	8	0.59	2.827					
	3.00	12	0.60	3.5215					
	4.00	16	0.60	4.066					
	5.00	20	0.60	4.455					
	6.00	24	0.60	4.980					
	7.00	28	0.60	5.379	34.0	39.379	1.00	4.00	no influye el gasto -
7.90	31.2	0.60	5.714	155.46	161.174	2.27	9.08	aguas abajo	
0.50	1.00	2	0.54	3.6595					
	1.50	3	0.55	4.565					
	2.00	4	0.57	5.463					
	3.00	6	0.585	6.808					
	4.00	8	0.59	7.997					
	5.00	10	0.60	9.092					
	6.00	12	0.60	9.960					
	7.00	14	0.60	10.758	34.0	44.758	1.05	2.1	no influye
	7.90	15	0.60	11.429	155.46	166.889	2.32	4.64	el gasto - aguas - abajo
0.75	1.50	2	0.54	6.723					
	2.00	2.6	0.55	7.907					
	3.00	4	0.57	10.036					
	4.00	5.3	0.575	11.690					
	5.00	6.6	0.585	13.184					
	6.00	8	0.57	14.691					
	7.00	9.3	0.60	16.137	34.0	50.137	1.12	1.50	
	7.90	10	0.60	17.143	155.46	172.603	2.37	3.16	el gasto de aguas aba- jo.

a	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub> /a	cd	Q	Qvert	Qtotat	Y <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub> /a	Observaciones
1.00	1.50	1.5	0.52	8.632					
	2.00	2.0	0.54	10.351					
	3.00	3.0	0.55	12.912					
	4.00	4.0	0.57	15.452					
	5.00	5.0	0.575	17.427					
	6.00	6.0	0.585	19.256					
	7.00	7.0	0.59	21.158	34.0	55.158	1.17	1.17	no influye
	7.90	7.9	0.59	22.477	155.46	177.937	2.40	2.40	el gasto de aguas abaja- jo.
1.25	2.00	1.6	0.53	12.699					
	3.00	2.4	0.545	15.993					
	4.00	3.2	0.56	18.976					
	5.00	4.0	0.57	21.594					
	6.00	4.8	0.575	23.863					
	7.00	5.6	0.58	25.999	34.0	59.999	1.25	1.00	no influye
	7.90	6.0	0.585	27.858	155.46	183.318	2.45	1.96	el gasto - aguas abaja- jo.
	1.50	3.00	2.0	0.54	19.016				
4.00		2.66	0.55	22.364					
5.00		3.33	0.56	25.459					
6.00		4.00	0.57	28.387					
7.00		4.66	0.575	30.930	34.0	64.930	1.33	0.88	no influye
7.90		5.00	0.58	33.44	155.46	188.504	2.49	1.66	el gasto - aguas abaja- jo.
1.82		3.00	1.6	0.53	22.645				
	4.00	2.2	0.545	26.889					
	5.00	2.7	0.55	30.338					
	6.00	3.3	0.56	33.838					
	7.00	3.8	0.57	37.202	34.0	71.202	1.40	0.77	no influye
	7.90	4.1	0.573	39.729	155.46	195.189	2.55	1.40	el gasto - aguas abaja- jo.





**DETALLE DE COMPUERTAS**

Y(m)

**NOTAS GENERALES**

1. Sección de compuertas en planta
2. Sección de compuertas en elevación
3. Sección de compuertas en elevación
4. Sección de compuertas en elevación
5. Sección de compuertas en elevación
6. Sección de compuertas en elevación
7. Sección de compuertas en elevación
8. Sección de compuertas en elevación
9. Sección de compuertas en elevación
10. Sección de compuertas en elevación

**UNAM**  
 FACULTAD DE  
 INGENIERIA

ALBERTO ARROYO M.  
 CURVAS DE DESCARGA  
 DE LAS COMPUERTAS  
 DEL DESARENADOR PLANO 5

## II.2.1.f. ESTACION DE MEDICION EN EL RIO MAGDALENA

a).- ANTECEDENTES

El Río Magdalena está localizado en el sur de la Ciudad de México, y sus aguas descargan al Río Churubusco en la confluencia con el Río Mixcoac.

El proyecto consiste de una estación con medidor Parshall cuya estructura se alojará en el cauce del Río Magdalena.

b).- OBJETIVOS Y ALCANCES

Colocando la estación de medición en este sitio y conociendo por algún otro procedimiento el gasto que conduce el Río -- Mixcoac, es posible conocer el gasto que recibe el Río Churubusco. Si además se miden las aguas que descargan las plantas de bombeo a este Río, se podrá conocer el gasto que es descargado al Lago de -- Texcoco en los límites del Distrito Federal.

El proyecto está formado por una estación con medidor Parshall, incluyendo una caseta para la instalación y protección de -- dos limnigrafos y la obtención de las curvas que relacionen el nivel medido, con el gasto que pasa por dicho medidor.

c).- ACTIVIDADES REALIZADAS

Se llevaron a cabo visitas de campo para poder localizar la sección en la cual se alojará el medidor, previendo que no se vea alterado por meandros propios del río. De esta manera se loca

lizó una sección en un tramo de longitud recta lo suficiente--  
mente amplia, en la que se pueda colocar la estructura del me--  
didor.

Habiendo sido seleccionada la sección, se procedió a --  
realizar mediciones de la velocidad del agua de acuerdo con el  
método de sección - velocidad. Este consiste en introducir un--  
flotador que no sobresalga demasiado de la superficie para que--  
no se vea acelerado por la fuerza que ejerza el aire sobre la --  
porción expuesta; la medición se realiza con cronómetro obser--  
vando el tiempo que tarda el flotador en recorrer una determinada  
distancia.

El procedimiento descrito anteriormente se aplicó tam--  
bién en la sección revestida de concreto, que se encuentra aguas  
arriba de la parte seleccionada para construir el medidor Parshall.  
Ahí se conocen las dimensiones de la sección con mucha exactitud,  
por lo que con el tirante del agua se puede conocer el área hi--  
dráulica y una vez medida la velocidad se puede determinar el --  
gasto que estará pasando en ese momento. Con este gasto y la --  
fórmula de Manning se obtuvo la pendiente en el canal revestido;  
con el mismo gasto y dando un valor al factor "n" de Manning, de  
acuerdo al tipo de fondo y paredes del cauce en estudio, se obtuvo  
la pendiente en el cauce natural. Estos valores fueron posteri  
ormente verificados llevando a cabo un levantamiento topográfico  
con cinta, estatal y nivel de mano.

El diseño propio del medidor se realizó de acuerdo a las  
especificaciones que se mencionan en la referencia 3 (ver memoria  
de cálculo)

Para poder diseñar la estructura del medidor se obtuvo el gasto máximo que puede pasar por la sección revestida y que es el mismo que pasará por la sección del cauce natural. Con ese gasto se calculó el tirante que tendrá la sección no revestida.

El medidor está constituido por una parte convergente en el sentido del flujo y que llega hasta la sección más estrecha llamada garganta. Antes de esta sección y en la misma, se localiza un pozo de tranquilización en cada una; en ellos se puede conocer el nivel que se tiene en las dos secciones. Después de la garganta se tiene una caída que abarca a la longitud total de la misma; dicha caída permite que el medidor pueda trabajar con ahogamientos grandes sin que se vea afectado el gasto.

Después de la sección de la garganta, se tiene una ampliación del medidor hasta una determinada longitud y a partir de ahí se amplía totalmente hasta alcanzar el ancho del cauce del río.

La sección de entrada se estrecha para lograr que el agua se acelere, obteniéndose de esta manera que no haya depósito de sedimentos para que no altere las mediciones que se obtengan

## d).- ANALISIS HIDRAULICO

El medidor Parshall puede trabajar con descarga libre o ahogada. El flujo libre ocurrirá cuando el nivel de aguas -- abajo no influya en la descarga y en el gasto.

El flujo ahogado se produce cuando el gasto se ve afectado por un tirante mayor aguas abajo de la cresta.

Para conocer el gasto en flujo libre, solamente se necesita la lectura del nivel que se encuentra en el pozo localizado en la sección de la cresta del medidor. El dato se obtiene de la siguiente expresión:

$$Q = (2.295 W + 0.478) (H_a)^{1.6}$$

donde:

$H_a$  es la lectura que se obtiene en la escala del pozo de la -- cresta.

$W$  es el ancho de la garganta del medidor.

Para el flujo ahogado se debe corregir el gasto obtenido, como si el medidor trabajara libremente. Esta corrección se llevó a cabo con la figura 24 de la misma referencia mencionada, de acuerdo al ahogamiento de que se trata. El ahogamiento está-- dado por la relación de cargas que se observan en los pozos de - tranquilización antes mencionados. Dicha relación es como sigue:

$$\frac{H_b}{H_a} = \text{porcentaje de ahogamiento.}$$

donde:

$H_b$  es la lectura obtenida en la escala del pozo que se encuentra en la gargante del medidor.

En los diferentes estudios que se han realizado para la obtención del gasto que circula por estos medidores, se ha encontrado que ellos trabajan con una descarga libre cuando la relación de cargas hidrostáticas arriba observadas es de 80%; cuando dicha relación es mayor se considera que el medidor está trabajando ahogado.

Las curvas trazadas para descarga ahogada ya han sido - corregidas de acuerdo a lo que establece la referencia 3; por lo tanto, conociendo el nivel en el pozo de tranquilización que se encuentra en la sección de la cresta vertedora y el porcentaje de ahogamiento, se puede conocer el gasto correspondiente a esa carga relacionada con el ahogamiento que sufra el medidor.

El punto de medida para la carga  $H_a$  en la cresta se realiza a 2/3 de la distancia paralela a la pared de la cresta; esta distancia se toma a partir de donde comienza la garganta en el sentido del flujo.

Para la medición de la carga  $H_b$ , ésta siempre se localiza a 0.30 m arriba del punto inferior donde termina la garganta y 0.23 arriba del piso de la misma en ese punto.

**e).- INSTALACION DE LA ESTACION DE MEDICION**

Al establecer los ceros de las escalas se debe verificar que tanto los medidores de  $H_a$  como los de  $H_b$ , proporcionen - el tirante de agua por encima de la cresta y no sobre los orificios de toma de presiones hidrostáticas.

Las tolerancias que se permiten en el ancho de la garganta y en otras dimensiones son de más - menos 0.39 mm y más - menos 0.8 mm, respectivamente.

Se debe lograr un acabado muy fino, tanto en las paredes como en el piso del medidor.

El flujo que llega debe quedar uniformemente distribuido en la entrada del medidor evitando en lo posible las turbulencias que se formen para lograr mediciones aceptables en el Parshall. Para que el material fino que se encuentra en la entrada del medidor no sea erosionado por la corriente y se produzca una socavación que permita la infiltración por debajo de la estructura del medidor, se debe hacer un dentellón que lo impida colocándolo a la entrada del mismo y continuándolo hasta las paredes del cauce natural. Se debe colocar otro dentellón en la parte terminal de la estructura y además proteger el piso del cauce natural, tanto a la entrada como a la salida del medidor, por medio de un zampeado que resista la fuerza de la corriente.

## f).- OPERACION DE LA ESTACION DE MEDICION

Para objeto de las mediciones se dibujaron las curvas que se mencionaron. Cuando el medidor descarga libremente hay que consultar la gráfica correspondiente a esta condición; ésto ocurrirá cuando la relación de cargas  $H_b / H_a$  sea menor de 0.8 ( $H_a$  es el nivel medido en el pozo de tranquilización que se en cuenta en la garganta del medidor).

Cuando se presente la condición de descarga ahogada se debe consultar la gráfica correspondiente a la relación de cargas  $H_a / H_b$  mayor que 0.8.

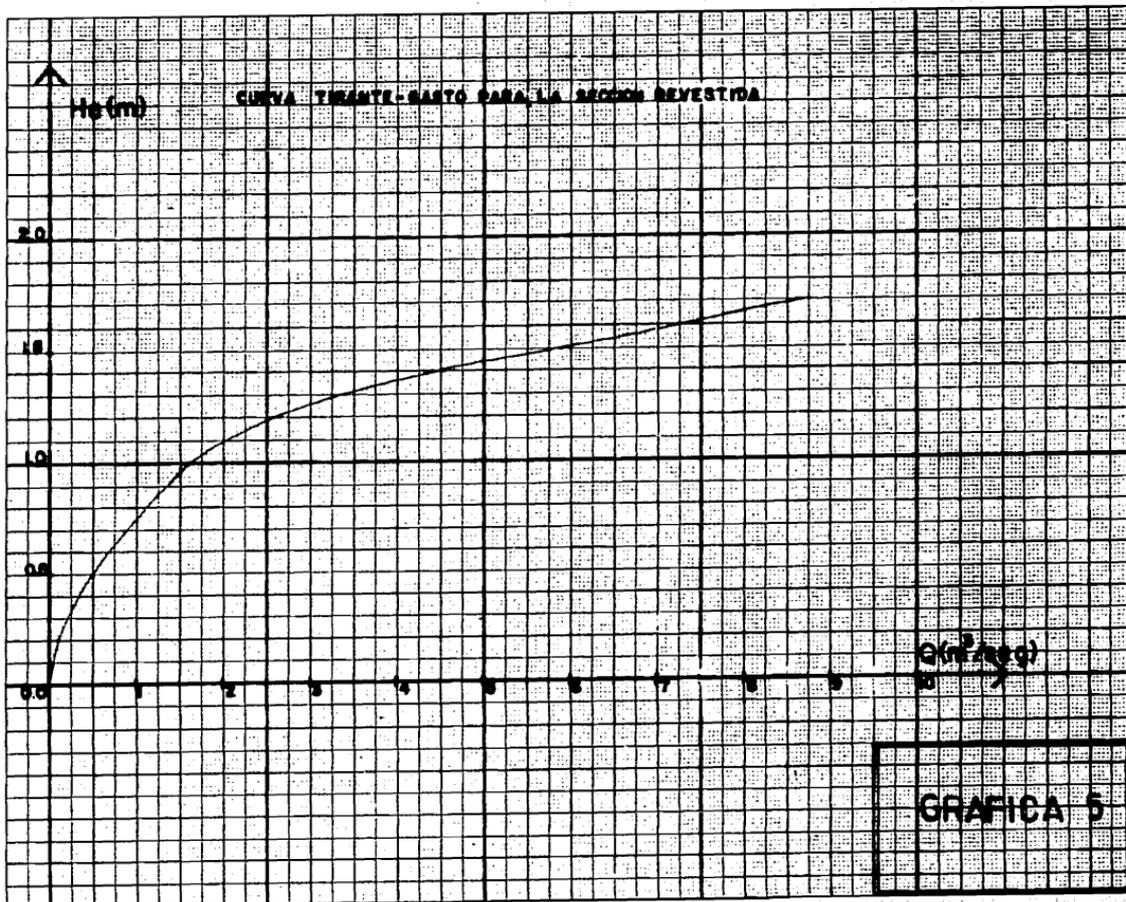
Haciendo un levantamiento topográfico, se obtuvieron la pendiente del canal revestido de concreto y de la sección propuesta, que se localiza aguas abajo de la primera, siendo estas 0.001 y 0.006 respectivamente.

En la sección revestida, en base a la pendiente obtenida y considerando un factor de fricción "n" = 0.16, ya que el canal no tiene un buen acabado, de la expresión de Manning se obtiene:

Y	A	P	R	$R^{2/3}$	Q		
0.10	0.09864	1.16045	0.08500	0.1933234	0.03823		
0.20	0.20654	1.380760	0.144569	0.28172	0.113611		
0.33	0.36059	1.66749	0.216307	0.36034	0.25373		
0.50	0.5859	2.04225	0.28689	0.434987	0.4976		
0.70	0.885181	2.483152	0.356475	0.50275	0.8689		
0.90	1.22155	2.924032	0.41776	0.558836	1.3326		
1.00	1.403636	3.144503	0.446378	0.584075	1.7004		
1.10	1.595	3.364	0.474138	0.60805	1.8933		
1.20	1.791	0.513163	3.3364	5.31126	0.6569	0.21056	2.5077
1.30	1.987	1.04465	3.364	5.58253	0.70398	0.327160	3.3979
1.40	2.183	1.5945	3.364	5.8538	0.74955	0.4 019	4.5024
1.50	2.379	2.1626	3.364	6.1251	0.7938	0.49955	5.7956
1.70	2.771	3.3539	3.364	6.6676	0.8787	0.63249	8.8946
1.793	2.9533	3.9328	3.364	6.9199	0.9169	0.6861	10.5540

El gasto máximo que puede pasar por la sección revestida es de:

$$Q \text{ max} = 10.5540 \text{ m}^3/\text{seg}$$



Para el cálculo del medidor se tomará un gasto - máximo de 8.8946 m<sup>3</sup>/seg. ya que la sección revestida deberá tener un bordo libre de cuando menos 0.09 m.

Cuando se presente el gasto máximo que puede pasar por la sección revestida, en la sección no revestida aguas abajo (sitio seleccionado para la colocación del Parshall), se tendrá el siguiente tirante:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

De las condiciones observadas, el factor de fricción "n" se propone igual a 0.043 .

$$\frac{Q n}{S^{1/2}} = \frac{(8.8946) (0.043)}{(0.005)^{1/2}} = 4.93764$$

$$\frac{Q n}{S^{1/2} b^{8/3}} = 0.0365$$

De la figura 2.7 de la referencia 2 se obtiene que:

$$\frac{Y}{b} = 0.15 \quad Y = (0.15) (6.3) = 0.945 \text{ m.}$$

$$A = 5.9535 \text{ m}^2$$

$$P = 8.19 \text{ m}$$

$$R = 0.7269$$

$$R^{2/3} = 0.8085$$

$$AR^{2/3} = 4.8132 = 4.93764$$

Ajustando el cálculo se obtiene lo siguiente:

$$Y = 0.961 \text{ m}$$

$$A = 6.0543$$

$$P = 8.222$$

$$R = 0.73635$$

$$R^{2/3} = 0.81544$$

$$AR^{2/3} = 4.942 \quad = \quad 4.93764$$

Por lo que el tirante en el río será  $Y = 0.961 \text{ m}$

Para la selección del medidor Parshall se siguen las indicaciones de la referencia 3; algunas de ellas son:

Las características del canal, localización y dimensiones.

El gasto que se espera, para todas las condiciones de operación, en especial el máximo y el mínimo.

Elevación de las paredes del canal.

En base a esas características, se propone un medidor de 3.66 m de ancho de garganta.

Para un gasto de  $8.8946 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , y con  $H_a$  obtenida de la tabla 20 de la referencia arriba mencionada.

$$\Rightarrow H_a = 1.0 \text{ m}$$

con el gasto  $Q = 8.8946 \text{ m}^3/\text{seg}$  se tiene un tirante en el canal de  $0.961 \text{ m}$ ; para un ahogamiento del 80%,  $H_b$  será igual a  $(1.0) (0.8) = 0.8 \text{ m}$  por lo que la elevación de la cresta del medidor es de -  
 $0.461 - 0.80 = 0.161 \text{ m}$

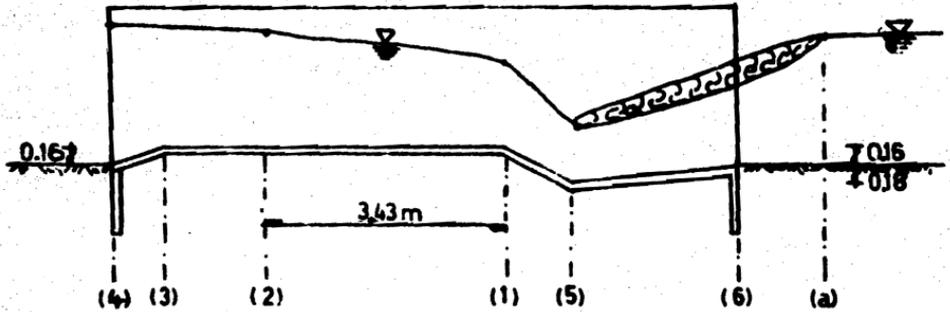


Figura 15

Planteando la ecuación que proporciona el tirante --  
crítico en la sección (1) ya que es una sección de control.

$$Y_c = \frac{\sqrt[3]{Q^2}}{\sqrt{g b^2}} \quad \text{donde } b = 3.66 \text{ m}$$

$$Y_c = \frac{\sqrt[3]{(8.8946)^2}}{\sqrt{(9.81) (3.66)^2}} = 0.8444 \text{ m}$$

$Y_c = 0.8444 \text{ m}$  que se presenta en la sección (1)

Planteando la ecuación de la energía entre (2) y (1)

$$E_1 = E_2 - hf \quad hf = \left( \frac{\bar{v} n_1}{R^{2/3}} \right)^2$$

$$E_1 = Y_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$\bar{V} = \frac{V_i + V_{i+1}}{2} ; R = \frac{A_i + A_{i+1}}{P_i + P_{i+1}}$$

$$E_1 = 0.8444 + 0.4222 = 1.27$$

$Y_2$	$A_2$	$V_2$	$\frac{V_2^2}{2g}$	$Y_1$	$A_1$	$V_1$	$\bar{V}$
0.6	3.018	2.94718	0.4427	0.8444	3.0905	2.8780	2.91261
1.3	6.539	1.3602	0.0443				2.1191
1.15	5.7845	1.5377	0.12051				2.2079
1.153	5.79959	1.5337	0.1199				2.2059

$P_1$	$P_2$	$\frac{2}{3}R$	hf	$E_2 - hf$
5.3485	6.23	0.6529	0.0154	1.027
	8.9	0.7701	0.006	1.388
	7.33	0.7884	0.006	1.27
	7.336	0.78900	0.006	

$$\Rightarrow Y_2 = 1.153 \text{ m}$$

Planteando la ecuación de la energía entre (2) y (3)

$Y_3$	$A_3$	$V_3$	$\frac{V_3^2}{2g}$	$Y_2$	$A_2$	$V_2$	$\bar{V}$
1.24	6.9564	1.2786	0.083	1.153	5.79959	1.5337	1.40615
1.182	6.63102	1.3414	0.0917				1.43755

$P_2$	$P_3$	$R$	hf	$E_3 - hf$
7.336	8.09	0.881	0.0008	1.322
	7.974	0.8702	0.0009	1.273

$$\Rightarrow Y_3 = 1.182 \text{ m}$$

Planteando la ecuación de la energía entre (3) y (4) aquí  $Z = 0.16\text{m}$

$$E_3 = 1.27$$

$Y_4$	$A_4$	$V_4$	$\frac{V_4^2}{2g}$	$Y_3$	$A_3$	$V_3$	$\bar{V}$
1.4	9.94	0.8948	0.0408	1.182	6.63102	1.3414	
1.393	9.903	0.8993	0.0412				1.12035

$P_4$	$P_3$	$R^{2/3}$	$hf$	$E_4 - hf - \Delta z$
9.886	7.974	0.9494	0.00045	1.27

$$== Y_4 = 1.393 \text{ m}$$

Por lo que el remanso que produce la estructura del medidor en el río es de 0.432 m.

El medidor descargará libremente ya que se tiene un ahogamiento menor del 80% que es la condición cuando el medidor trabaja libremente.

Por lo tanto, se tiene que la altura de las paredes del medidor será de:

$$\text{Altura} = 1.39 + \text{bordo libre} = 1.60$$

$$\text{Bordo libre} = 0.21 \text{ m}$$

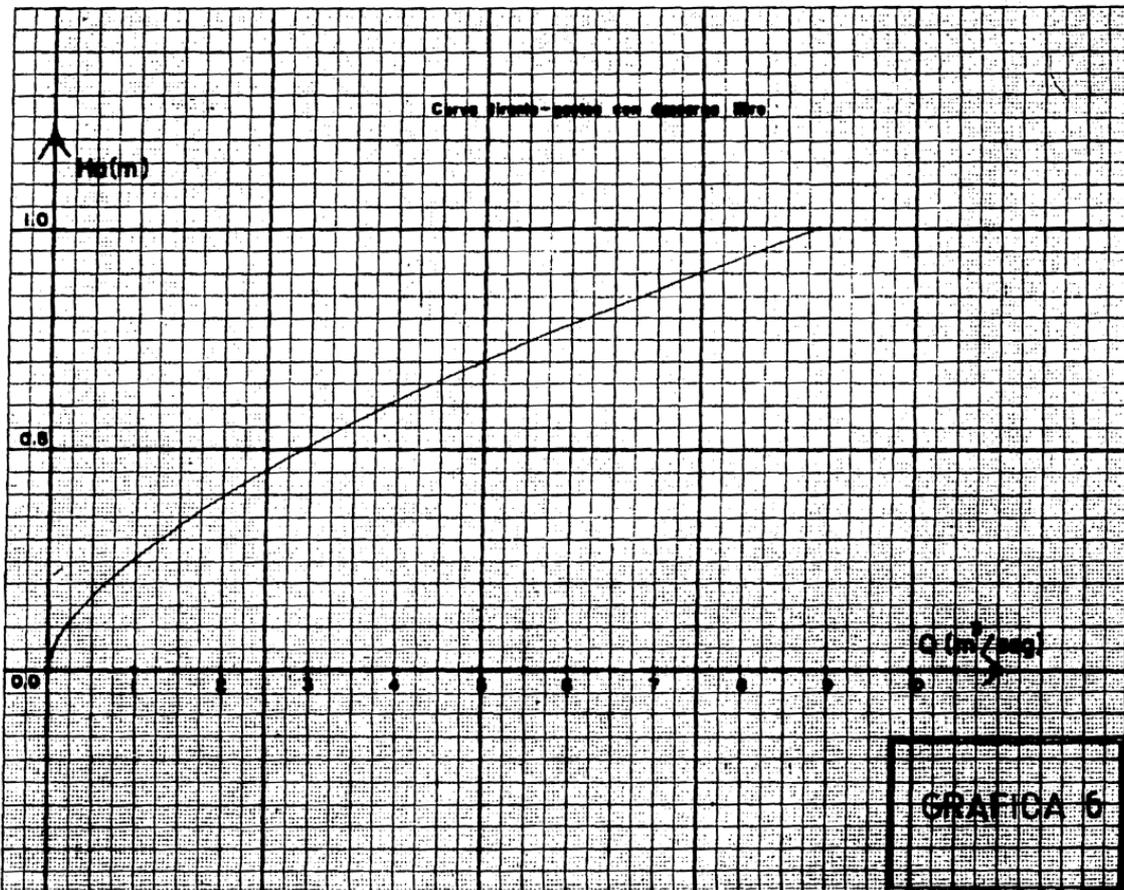
Cuando la descarga es libre o el ahogamiento es menor que el 80%, el gasto se obtiene de la curva para descarga libre, a partir de la ecuación No. 18 de la referencia 3.

$$Q = (2.295 W + 0.478) H_a^{1.6}$$

Ha	Q
0.05	0.074
0.10	0.223
0.15	0.427
0.20	0.676
0.25	0.966
0.30	1.293
0.35	1.655
0.40	2.049
0.45	2.474
0.50	2.929

Ha	Q
0.55	3.411
0.60	3.921
0.65	4.456
0.70	5.017
0.75	5.603
0.80	6.212
0.85	6.845
0.90	7.500
0.95	8.178
1.00	8.818
1.05	9.598

Curva tirante-potência com descarga livre



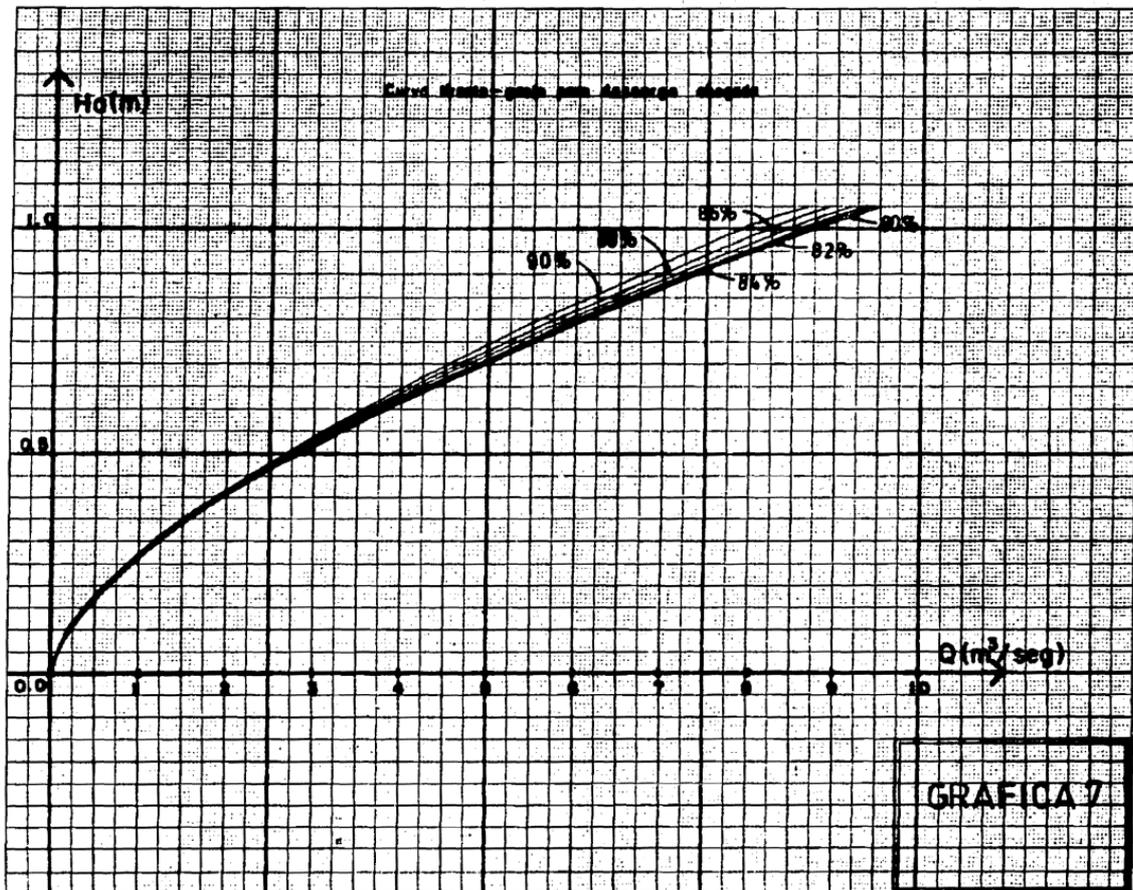
GRAFICA 6

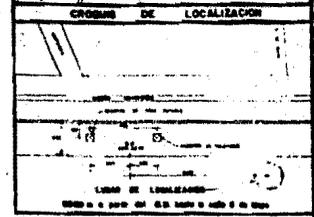
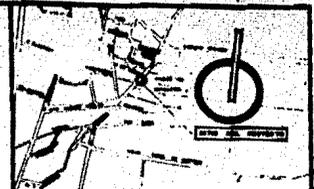
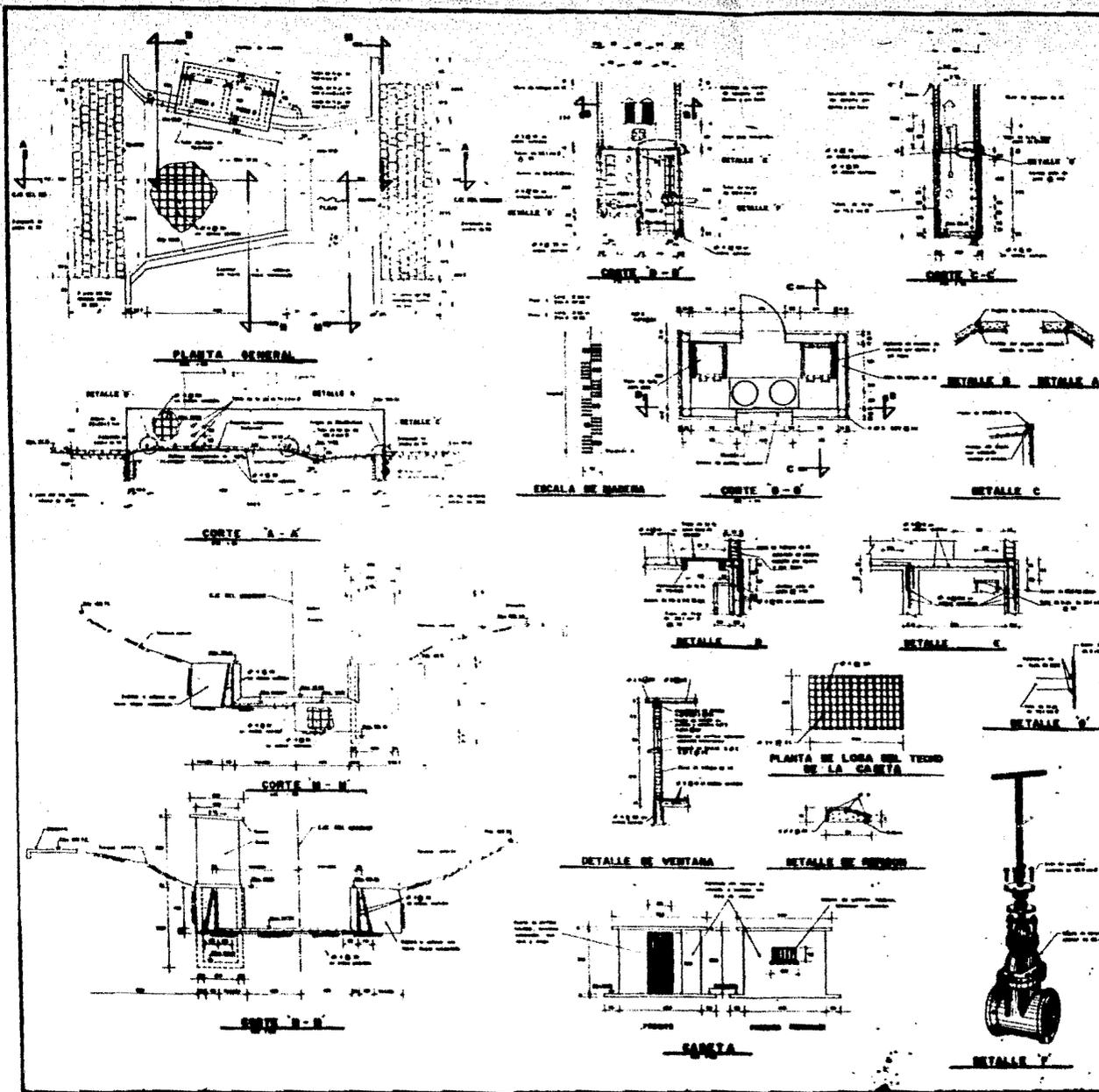
Cuando la relación  $H_b/H_a = 0.80$ , el gasto se obtiene de la curva para descarga ahogada, obtenida a partir de la ecuación No. 18 y corregida por la Fig. 24 de la referencia 3.

Ha (m)	Hb (m)	Porcentaje de Ahogamiento.	Corrección en $m^3/seg$	Gasto corregido ( $m^3/seg$ )
1.05	0.945	0.90	0.936	8.662
	0.924	0.88	0.672	8.926
	0.903	0.86	0.432	9.166
	0.882	0.84	0.264	9.334
	0.861	0.82	0.156	9.442
	0.840	0.80	0.083	9.515
1.00	0.90	0.90	0.900	7.978
	0.88	0.88	0.648	8.230
	0.86	0.86	0.432	8.446
	0.84	0.84	0.270	8.608
	0.82	0.82	0.162	8.716
	0.80	0.80	0.079	8.799
0.90	0.810	0.90	0.744	6.756
	0.792	0.88	0.516	6.984
	0.774	0.86	0.353	7.147
	0.756	0.84	0.222	7.278
	0.738	0.82	0.125	7.375
	0.720	0.80	0.062	7.438
0.80	0.720	0.90	0.576	5.636

Ha (m)	Hb (m)	Porcentaje de Ahogamiento.	Corrección en m <sup>3</sup> /seg.	Gasto corregido (m <sup>3</sup> /seg)
	0.704	0.88	0.420	5.792
	0.688	0.86	0.276	5.936
	0.672	0.84	0.182	6.030
	0.656	0.82	0.098	6.114
	0.640	0.80	0.049	6.163
0.70	0.630	0.90	0.456	4.561
	0.616	0.88	0.330	4.687
	0.602	0.86	0.218	4.799
	0.588	0.84	0.136	4.881
	0.574	0.82	0.074	4.943
	0.560	0.80	0.038	4.979
0.6	0.54	0.90	0.324	3.597
	0.528	0.88	0.235	3.686
	0.516	0.86	0.162	3.759
	0.504	0.84	0.095	3.826
	0.492	0.82	0.055	3.866
	0.480	0.80	0.028	3.893
0.5	0.450	0.90	0.228	2.701
	0.440	0.88	0.174	2.755
	0.430	0.86	0.107	2.822
	0.420	0.84	0.066	2.863
	0.410	0.82	0.037	2.892

Ha (m)	Hb (m)	Porcentaje de Ahogamiento.	Corrección en m <sup>3</sup> /seg.	Gasto corregido (m <sup>3</sup> /seg)
	0.400	0.80	0.018	2.911
0.4	0.360	0.90	0.144	1.905
	0.352	0.88	0.103	1.946
	0.344	0.86	0.068	1.981
	0.336	0.84	0.042	2.007
	0.328	0.82	0.024	2.025
0.3	0.270	0.90	0.079	1.214
	0.264	0.88	0.059	1.234
	0.256	0.86	0.038	1.255
	0.252	0.84	0.024	1.269
0.2	0.180	0.90	0.036	0.640
	0.176	0.88	0.026	0.650
	0.172	0.86	0.014	0.662
0.1	0.090	0.90	0.028	0.195
	0.088	0.88	0.019	0.204





**LISTA DE MATERIAL**

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD
1	...	...	...
2	...	...	...
3	...	...	...
4	...	...	...
5	...	...	...
6	...	...	...
7	...	...	...
8	...	...	...
9	...	...	...
10	...	...	...
11	...	...	...
12	...	...	...
13	...	...	...
14	...	...	...
15	...	...	...
16	...	...	...
17	...	...	...
18	...	...	...
19	...	...	...
20	...	...	...
21	...	...	...
22	...	...	...
23	...	...	...
24	...	...	...
25	...	...	...
26	...	...	...
27	...	...	...
28	...	...	...
29	...	...	...
30	...	...	...
31	...	...	...
32	...	...	...
33	...	...	...
34	...	...	...
35	...	...	...
36	...	...	...
37	...	...	...
38	...	...	...
39	...	...	...
40	...	...	...
41	...	...	...
42	...	...	...
43	...	...	...
44	...	...	...
45	...	...	...
46	...	...	...
47	...	...	...
48	...	...	...
49	...	...	...
50	...	...	...

**NOTAS**

1. Para los detalles ver el croquis de detalles en el plano...
2. El tipo de material a utilizar es el especificado en el croquis...
3. El tipo de pintura a utilizar es el especificado en el croquis...
4. El tipo de acabado a utilizar es el especificado en el croquis...
5. El tipo de carpintería a utilizar es el especificado en el croquis...
6. El tipo de cerrajería a utilizar es el especificado en el croquis...
7. El tipo de vidrios a utilizar es el especificado en el croquis...
8. El tipo de aluminios a utilizar es el especificado en el croquis...
9. El tipo de cerámica a utilizar es el especificado en el croquis...
10. El tipo de pisos a utilizar es el especificado en el croquis...
11. El tipo de techos a utilizar es el especificado en el croquis...
12. El tipo de paredes a utilizar es el especificado en el croquis...
13. El tipo de columnas a utilizar es el especificado en el croquis...
14. El tipo de vigas a utilizar es el especificado en el croquis...
15. El tipo de pilares a utilizar es el especificado en el croquis...
16. El tipo de muros a utilizar es el especificado en el croquis...
17. El tipo de techos a utilizar es el especificado en el croquis...
18. El tipo de paredes a utilizar es el especificado en el croquis...
19. El tipo de columnas a utilizar es el especificado en el croquis...
20. El tipo de vigas a utilizar es el especificado en el croquis...
21. El tipo de pilares a utilizar es el especificado en el croquis...
22. El tipo de muros a utilizar es el especificado en el croquis...
23. El tipo de techos a utilizar es el especificado en el croquis...
24. El tipo de paredes a utilizar es el especificado en el croquis...
25. El tipo de columnas a utilizar es el especificado en el croquis...
26. El tipo de vigas a utilizar es el especificado en el croquis...
27. El tipo de pilares a utilizar es el especificado en el croquis...
28. El tipo de muros a utilizar es el especificado en el croquis...
29. El tipo de techos a utilizar es el especificado en el croquis...
30. El tipo de paredes a utilizar es el especificado en el croquis...
31. El tipo de columnas a utilizar es el especificado en el croquis...
32. El tipo de vigas a utilizar es el especificado en el croquis...
33. El tipo de pilares a utilizar es el especificado en el croquis...
34. El tipo de muros a utilizar es el especificado en el croquis...
35. El tipo de techos a utilizar es el especificado en el croquis...
36. El tipo de paredes a utilizar es el especificado en el croquis...
37. El tipo de columnas a utilizar es el especificado en el croquis...
38. El tipo de vigas a utilizar es el especificado en el croquis...
39. El tipo de pilares a utilizar es el especificado en el croquis...
40. El tipo de muros a utilizar es el especificado en el croquis...
41. El tipo de techos a utilizar es el especificado en el croquis...
42. El tipo de paredes a utilizar es el especificado en el croquis...
43. El tipo de columnas a utilizar es el especificado en el croquis...
44. El tipo de vigas a utilizar es el especificado en el croquis...
45. El tipo de pilares a utilizar es el especificado en el croquis...
46. El tipo de muros a utilizar es el especificado en el croquis...
47. El tipo de techos a utilizar es el especificado en el croquis...
48. El tipo de paredes a utilizar es el especificado en el croquis...
49. El tipo de columnas a utilizar es el especificado en el croquis...
50. El tipo de vigas a utilizar es el especificado en el croquis...
51. El tipo de pilares a utilizar es el especificado en el croquis...
52. El tipo de muros a utilizar es el especificado en el croquis...
53. El tipo de techos a utilizar es el especificado en el croquis...
54. El tipo de paredes a utilizar es el especificado en el croquis...
55. El tipo de columnas a utilizar es el especificado en el croquis...
56. El tipo de vigas a utilizar es el especificado en el croquis...
57. El tipo de pilares a utilizar es el especificado en el croquis...
58. El tipo de muros a utilizar es el especificado en el croquis...
59. El tipo de techos a utilizar es el especificado en el croquis...
60. El tipo de paredes a utilizar es el especificado en el croquis...

**UNAM** FACULTAD DE INGENIERIA

ALBERTO ARROYO M.  
MEDIDOR PARSHALL

PLANO 6

## II 2.2.- RELACION SECCION-VELOCIDAD.

Este método es preferible frecuentemente respecto de otros medios cuando se tienen que medir gastos grandes y la caída disponible es pequeña. Además se pueden instalar con relativo poco esfuerzo y usualmente sin modificar el canal.

Las estaciones de aforo se pueden localizar en tramos rectos y uniformes del canal, además de que su naturaleza sea permanente.

Las características esenciales de una estación de -- aforos de éste tipo son:

La sección o secciones del cauce en las que se hacen los aforos; se designan por ello, "Secciones de aforo".

Una estructura que se aprovecha o destina especialmente para hacer las maniobras y observaciones llamada "estructura de aforo".

Reglas graduadas llamadas escalas, debidamente referidas a bancos fijos de nivel, para observar en ellas la elevación del nivel del agua en períodos determinados.

El equipo y útiles necesarios para la medida de la sección y la velocidad de la corriente.

Un aparato registrador de las alturas del agua (limnigrafo)

Este tramo de aforos en que se localizan las partes citadas, es conveniente que reúna ciertas características que deberán cumplirse hasta donde sea posible, ya que de ellas dependen de el buen funcionamiento y la eficiencia de la estación, por lo que es necesario conceder la debida importancia a la elección del tramo de aforos.

De acuerdo al equipo usado y naturaleza de la estación, los aforos con molinete se clasifican como sigue (Ref. 3):

Estaciones de vadeo

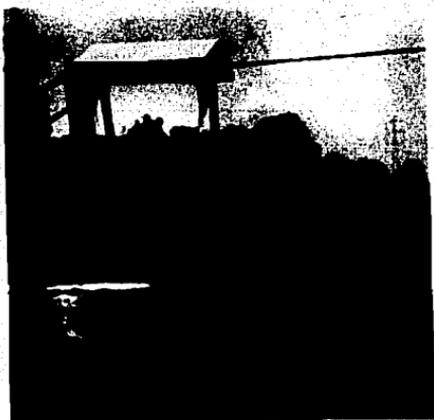
Estaciones con cable transportador (Fotografía # 5)

Estaciones desde un puente (Fotografía #6)

Estaciones con una lancha

Para cualquiera de estos métodos que se utilicen, se determinan separadamente la sección transversal de la corriente y la velocidad del agua; la sección por medio de sondeos o algún otro procedimiento topográfico y la velocidad por cualquiera de estos métodos: flotadores, molinete, pendiente hidráulica y otros.

De estos métodos el más práctico y económico es aquel en el que se emplea el molinete.



FOTOGRAFIA #5



FOTOGRAFIA #6

El molinete es un aparato provisto de una rueda con -  
aspas, la cual gira por el choque del agua contra ella, ade--  
más de un dispositivo que determina el número de revoluciones  
de la rueda.

Como la velocidad del agua varía de un punto a otro en  
una misma sección transversal de la corriente, es indispensa--  
ble efectuar medidas en diferentes sitios y profundidades para  
conocer el valor de la velocidad media. Existen varios méto--  
dos para determinar la velocidad en la línea vertical con un -  
molinete.

Método de los dos puntos

Método de los seis décimos del tirante

Método de las curvas de velocidad sobre una vertical

Método de los dos décimos

Método del punto continuo

El método de los dos puntos se propuso en el proyecto -  
# 4 y consiste en medir la velocidad a 0.2 y 0.8 del tirante --  
desde la superficie del agua sacando después el promedio de las  
dos mediciones. Para una mayor información de los métodos se -  
puede consultar la referencia # 3.

## P R O Y E C T O # 4

II.2.2.a. ESTACION DE AFORO EN EL GRAN CANAL

## a).- ANTECEDENTES

El Gran Canal se encuentra localizado en la zona norte del Distrito Federal. El lugar de interés para el aforo se localizará después de la Planta de Bombeo No. 8, y antes de su confluencia con el Río de los Remedios y la descarga del Lago de Texcoco.

Este lugar se encuentra en el límite del Distrito Federal y el Edo. de México. De esta forma se conocerá el gasto que sale del Distrito Federal.

## b).- OBJETIVOS Y ALCANCES

El proyecto está formado por la estación de cable canastilla, el diseño de la canastilla y la selección del molinte hidráulico.

La estación con cable y canastilla se instalará antes del Acueducto parcialmente destruido que cruza sobre el Gran Canal. Este acueducto se encuentra en el tramo en que interesa - realizar los aforos, es decir, entre la Planta de Bombeo No. 8, y la descarga del Río de los Remedios. Se pensó en la posibilid

dad de usarlo, sin embargo se desechó debido a que al subir el nivel del agua ésta golpea contra sus paredes. Además la forma de la sección no es la más adecuada para una sección de aforos.

c).- ACTIVIDADES REALIZADAS.

Se obtuvo el perfil de la sección transversal más adecuada por medio de un nivel fijo y estatal; dicha sección se seleccionó de manera que el remanso originado por la confluencia con el Río de los Remedios y la descarga del lago de Texcoco, afectara lo menos posible; así mismo que la sección se ubicara después de la descarga de la Planta de Bombeo No.8.

A partir de la sección transversal se conoció el claro que se tenía que salvar y en base al mismo, se seleccionó la instalación de una estación de cable y canastilla, ya que el ancho del Canal es muy grande y la solución a base de un puente sería más costosa.

La solución consiste en apoyar el cable en torres de concreto reforzado, ya que a largo plazo es más económica, pues no requiere mantenimiento ni cuidado de la estructura como sería el caso de las torres de acero y de madera. Además, tiene una vida útil ilimitada si se utilizan materiales de buena calidad.

La altura de las torres será la mínima indispensable para el óptimo funcionamiento durante cualquier época del año. Esto se hizo calculando la flecha que adoptará el cable cuando esté cargado con la canastilla más la carga viva al centro del claro, tomando en cuenta la altura de la canastilla y dejando una distancia mínima que debe existir entre la parte inferior de la canastilla y el nivel de aguas máximas extraordinarias.- Esto es con el fin de poder llevar a cabo los aforos cuando se presenten situaciones extraordinarias y que serán de un gran valor, pues nos permitirán conocer los gastos máximos que conduce el Canal.

Para los elementos estructurales se utilizó para su diseño el libro de "Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado", así como el libro de "Requisitos de Seguridad y Servicio para las Estructuras", título IV del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

Los diseños llevados a cabo fueron los de la plataforma, la cual se calculó como una viga en cantiliver; la torre; la cimentación y los "muertos" de concreto.

La torre se diseñó para que no tuviera problemas por -- efectos de la esbeltez, revisándola por sismo y por viento, siendo el primero el que rigió para el diseño.

Se propone una cimentación compensada pensando en las malas propiedades de carga que tenga el terreno donde se des-- plantará la cimentación.

Se diseñó la cimentación contra penetración de la columna, flotación debido al nivel freático tan superficial y contra volteo; no teniendo problema alguno.

Por lo que respecta a los "muertos" de concreto, se - diseñaron para que no penetren en el suelo y evitar el problema constante de estar ajustando la flecha del cable con el templador.

El diseño de la tapadera de lámina es para impedir que cualquier persona haga uso de las instalaciones, o se suba sinningún objeto, esta tapa se colocará en la entrada de la plataforma.

#### d).- INSTALACION DE LA ESTACION DE AFORO

Las torres se colocarán a nivel y ésto se comprobará - con un nivel fijo. Estas torres están calculadas para soportar cargas axiales únicamente por lo que se debe evitar que traba-- jen a flexión.

Una vez levantadas las torres e instalados los ancla-- jes, se procederá a tender el cable. Se utilizará un cable ligero que se tenderá a través del cruce por medio de una lancha.

En el extremo de este cable ligero se sujeta, por medio de opresores, el cable que se va a instalar definitivamente y que en este caso es acero de arado 6 x 19 de  $3/4"$   $\phi$ , el cual será tendido a través del cauce con la ayuda del cable ligero y un aparejo.

Después de tendido el cable, ya sujeto en su extremo y suspendido en su lugar, se procederá a darle aproximadamente, - la tensión requerida por medio de un aparejo diferencial de cadenas, antes de sujetarlo en su otro extremo al "ojo" del templador, previamente extendido a toda su capacidad y conectado - al anclaje. Una vez que se ha hecho pasar el extremo del cable a través del "ojo" del templador y que ha quedado asegurado por medio de opresores, es posible remover el aparejo diferencial a fin de dar al cable, por medio del templador, la flecha calculada y que será de 3.00 m (ver memoria de cálculo).

Debe comprobarse la flecha con la carga viva al centro y rectificarla después de algunos días de operación, debido a - que el cable se estira al comenzar a trabajar.

Es importante que el "muerto" de concreto no trabaje -- hasta después de una semana de construido, como mínimo.

El sitio exacto para efectuar cada uno de los sondeos se marcará en un cable auxiliar de  $1/8"$  tendido entre las dos torres,

colocando fichas de láminas galvanizadas en el cable auxiliar. Para hacer las marcas se tomará como punto de partida el eje - de la torre logrando con ésto tener un punto fijo de referen--cia. El espaciamiento de las marcas se variará de acuerdo a - la anchura de la sección que tenga el espejo de agua normalmente; es decir, en la sección del canal que permanentemente tenga flujo de agua se harán marcas a cada metro o menos, para obtener todas las variantes del fondo y poder hacer una acertada interpretación de la forma de la sección. Para el resto de la longitud se harán las marcas más espaciadas (a cada 2 m).

e).- OPERACION DE LA ESTACION DE AFORO

El intervalo entre los sondeos será el marcado en el - cable auxiliar, pero podrá variar de acuerdo al criterio del Jefe de la División. Como guía para los espaciamientos de acuerdo a la anchura de la corriente, se puede consultar la referencia 4.

Para obtener la velocidad media se utilizará un molinete hidráulico. Este debe tener una rueda provista de un dispositivo, mediante el cual, el agua en movimiento lo haga girar y - un mecanismo que permita contar el número de vueltas que da la - rueda. Este mecanismo será eléctrico y transmitirá su señal a un audífono.

El molinete se colocará al 20% y 80% de la profundidad del sondeo a partir de la superficie del agua.

Es conveniente revisar periódicamente la flecha del cable vía. Esto se puede hacer en forma rápida y sencilla marcando en ambas torres y hacia abajo del apoyo del cable, la dimensión que según los cálculos tiene la flecha (3.00 m), señalando estas alturas mediante un trazo hecho con pintura muy visible. Después mirando la altura de uno de esos trazos al de la torre opuesta, debe verse que la parte central del cable -- coincida exactamente con esta visual; en caso contrario, se harán los ajustes necesarios con el templador hasta que se logre la coincidencia.

Deben protegerse periódicamente las partes metálicas -- que quedan a la intemperie, como la deslizadera, mediante la -- aplicación de pintura anticorrosiva y un engrasado adecuado.

## 2).- MEMORIA DE CALCULO.

Cálculo de la altura de las torres que soportarán la canastilla.

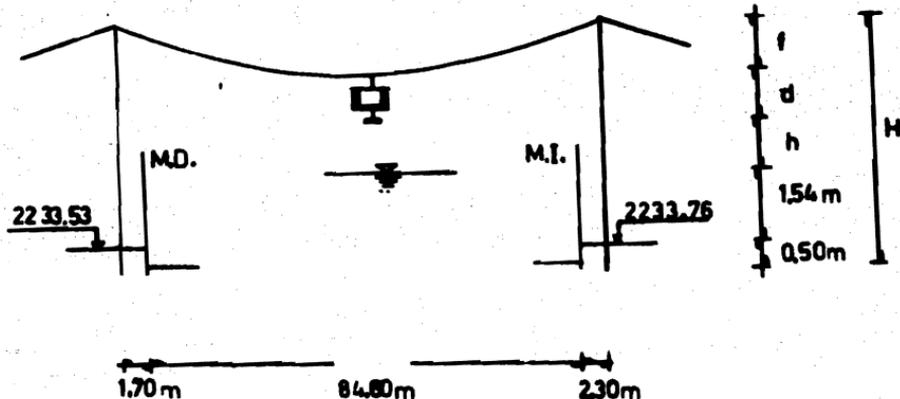


Figura 16

El cable para salvar el claro, será acero de arado de  $3/4"$   $\phi$ .

En la figura anterior  $f$  es la flecha que adoptará el cable cuando esté cargado con la canastilla más la carga viva.

$h$  es la distancia mínima que debe existir entre la canastilla y el nivel de aguas máximas extraordinarias.

d altura de la canastilla para -  
llevar a cabo el aforo. (ver plano).

CALCULO DE LA FLECHA.

$$f = \frac{l (2P + wl)}{8 \sqrt{T^2 - \left(P + \frac{wl}{2}\right)^2}}$$

Donde: P = Peso de la canastilla más la carga viva = 350 kg.

w = Peso del cable por metro de longitud = 1.34 Kg/m.

T = Tensión de trabajo del cable = 3,054 Kg.

l = Claro entre apoyos = 88.60 m.

$$f = \frac{88.60 \quad (2) \quad (350) + 1.34 (88.60)}{8 \sqrt{(3054)^2 - 350 \left(\frac{1.34 (88.60)}{2}\right)^2}} = 3.00 \text{ m}$$

$$d = 1.54 \text{ m}$$

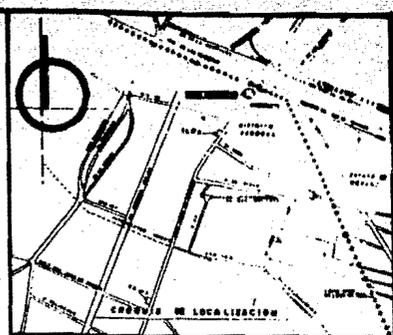
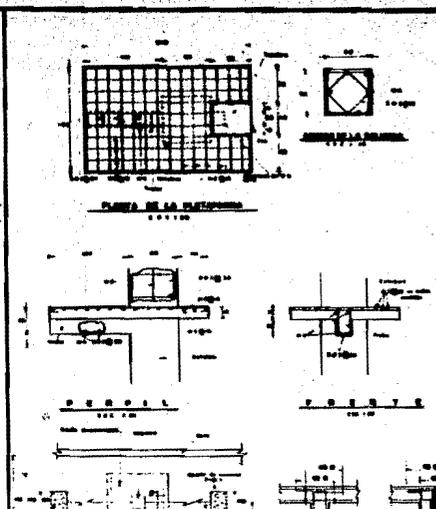
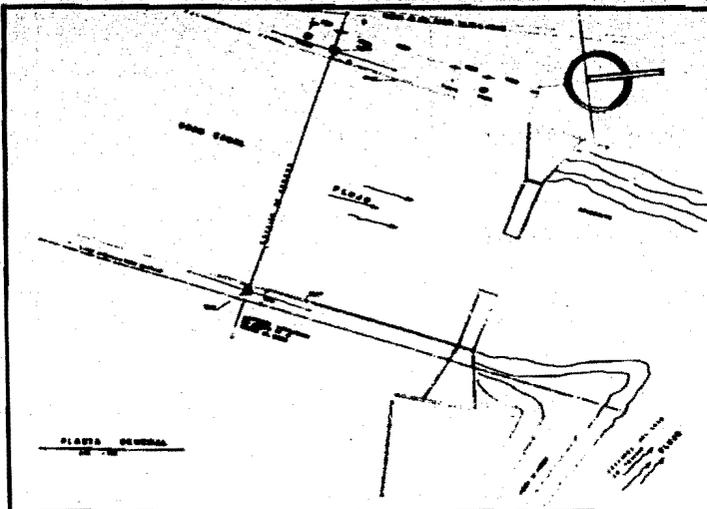
$$h = 1.50 \text{ m}$$

. Torre margen izquierda.

$$H = 3.0 + 1.54 + 1.50 + 1.54 + 0.50 = 8.08 \text{ m}$$

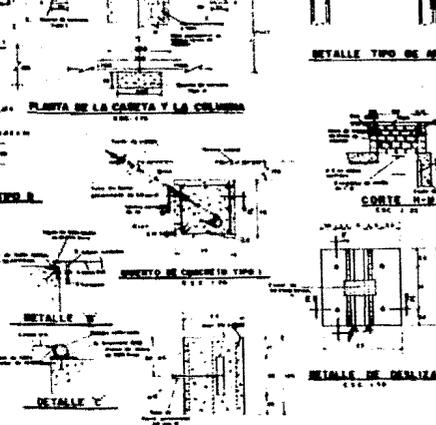
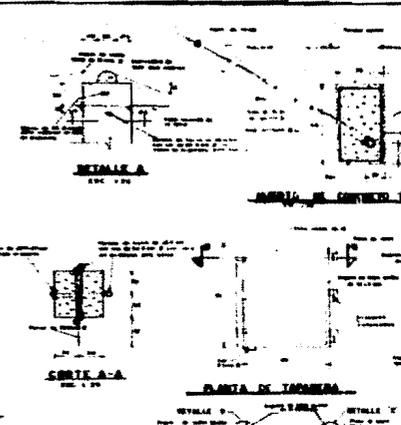
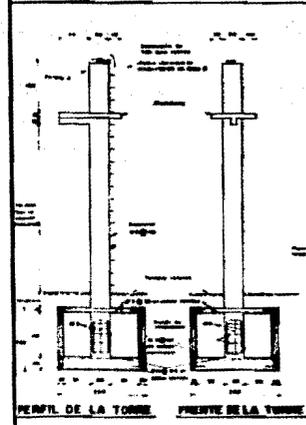
. Torre margen derecha.

$$H = 3.0 + 1.54 + 1.50 + 1.77 + 0.50 = 8.31 \text{ m}$$



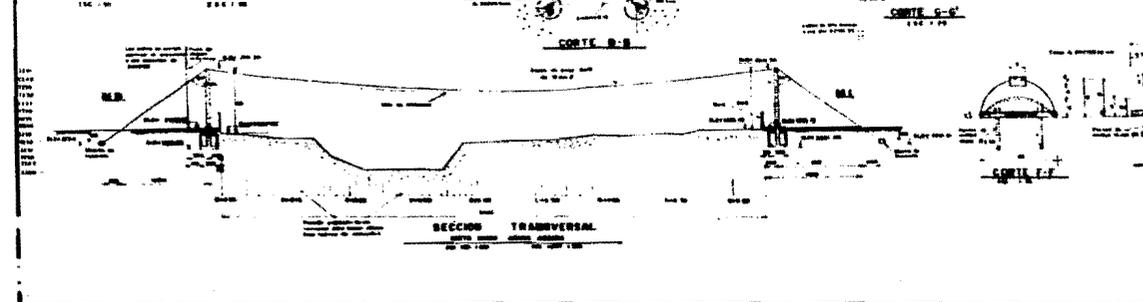
**NOTAS GENERALES**

1. Dimensiones en cm. No se debe utilizar el S.I. (Sistema Internacional).
2. La estructura es simétrica respecto al eje central del canal.
3. Las armaduras son prefabricadas y se suministran en bloques de 10 metros de longitud por 1.50 metros de ancho.
4. Para la colocación de la estructura se debe tener en cuenta el nivel de agua que se proyecta para el momento de la construcción.
5. Se debe tener en cuenta el nivel de agua que se proyecta para el momento de la construcción.
6. El material de obra debe ser de buena calidad y cumplir con las normas vigentes.
7. El tipo de concreto a utilizar debe ser de resistencia mínima de 200 kg/cm<sup>2</sup>.
8. El tipo de acero a utilizar debe ser de resistencia mínima de 4000 kg/cm<sup>2</sup>.
9. El tipo de acero a utilizar debe ser de resistencia mínima de 4000 kg/cm<sup>2</sup>.
10. El tipo de acero a utilizar debe ser de resistencia mínima de 4000 kg/cm<sup>2</sup>.



**LISTA DE MATERIALES**

1. Tipo de concreto a utilizar	2. Tipo de acero a utilizar
3. Tipo de acero a utilizar	4. Tipo de acero a utilizar
5. Tipo de acero a utilizar	6. Tipo de acero a utilizar
7. Tipo de acero a utilizar	8. Tipo de acero a utilizar
9. Tipo de acero a utilizar	10. Tipo de acero a utilizar
11. Tipo de acero a utilizar	12. Tipo de acero a utilizar
13. Tipo de acero a utilizar	14. Tipo de acero a utilizar
15. Tipo de acero a utilizar	16. Tipo de acero a utilizar
17. Tipo de acero a utilizar	18. Tipo de acero a utilizar
19. Tipo de acero a utilizar	20. Tipo de acero a utilizar
21. Tipo de acero a utilizar	22. Tipo de acero a utilizar
23. Tipo de acero a utilizar	24. Tipo de acero a utilizar
25. Tipo de acero a utilizar	26. Tipo de acero a utilizar
27. Tipo de acero a utilizar	28. Tipo de acero a utilizar
29. Tipo de acero a utilizar	30. Tipo de acero a utilizar
31. Tipo de acero a utilizar	32. Tipo de acero a utilizar
33. Tipo de acero a utilizar	34. Tipo de acero a utilizar
35. Tipo de acero a utilizar	36. Tipo de acero a utilizar
37. Tipo de acero a utilizar	38. Tipo de acero a utilizar
39. Tipo de acero a utilizar	40. Tipo de acero a utilizar
41. Tipo de acero a utilizar	42. Tipo de acero a utilizar
43. Tipo de acero a utilizar	44. Tipo de acero a utilizar
45. Tipo de acero a utilizar	46. Tipo de acero a utilizar
47. Tipo de acero a utilizar	48. Tipo de acero a utilizar
49. Tipo de acero a utilizar	50. Tipo de acero a utilizar
51. Tipo de acero a utilizar	52. Tipo de acero a utilizar
53. Tipo de acero a utilizar	54. Tipo de acero a utilizar
55. Tipo de acero a utilizar	56. Tipo de acero a utilizar
57. Tipo de acero a utilizar	58. Tipo de acero a utilizar
59. Tipo de acero a utilizar	60. Tipo de acero a utilizar
61. Tipo de acero a utilizar	62. Tipo de acero a utilizar
63. Tipo de acero a utilizar	64. Tipo de acero a utilizar
65. Tipo de acero a utilizar	66. Tipo de acero a utilizar
67. Tipo de acero a utilizar	68. Tipo de acero a utilizar
69. Tipo de acero a utilizar	70. Tipo de acero a utilizar
71. Tipo de acero a utilizar	72. Tipo de acero a utilizar
73. Tipo de acero a utilizar	74. Tipo de acero a utilizar
75. Tipo de acero a utilizar	76. Tipo de acero a utilizar
77. Tipo de acero a utilizar	78. Tipo de acero a utilizar
79. Tipo de acero a utilizar	80. Tipo de acero a utilizar
81. Tipo de acero a utilizar	82. Tipo de acero a utilizar
83. Tipo de acero a utilizar	84. Tipo de acero a utilizar
85. Tipo de acero a utilizar	86. Tipo de acero a utilizar
87. Tipo de acero a utilizar	88. Tipo de acero a utilizar
89. Tipo de acero a utilizar	90. Tipo de acero a utilizar
91. Tipo de acero a utilizar	92. Tipo de acero a utilizar
93. Tipo de acero a utilizar	94. Tipo de acero a utilizar
95. Tipo de acero a utilizar	96. Tipo de acero a utilizar
97. Tipo de acero a utilizar	98. Tipo de acero a utilizar
99. Tipo de acero a utilizar	100. Tipo de acero a utilizar



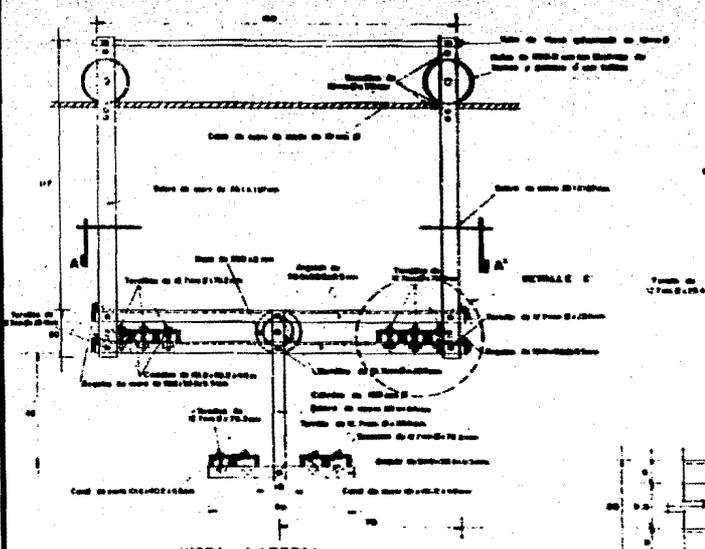
**UNAM**

FACULTAD DE INGENIERIA

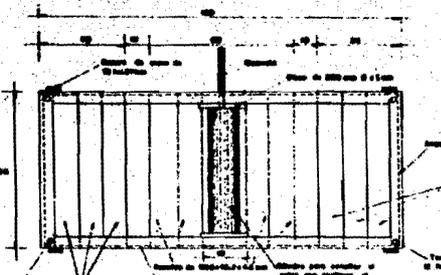
ALBERTO ARROYO M.

ESTACION DE AFORO SOBRE EL GRAN CANAL

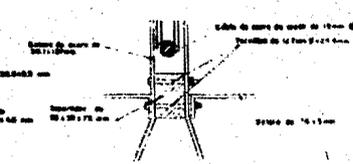
PLANO 7



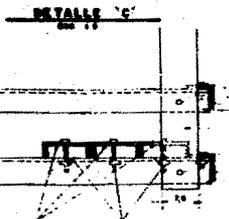
**VISTA LATERAL**  
ESC. 1/5



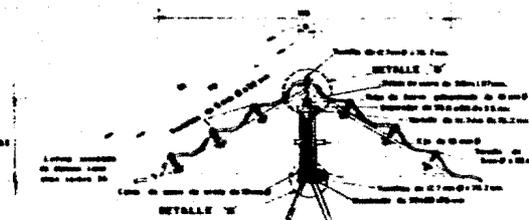
**CORTE A-A'**  
ESC. 1/5



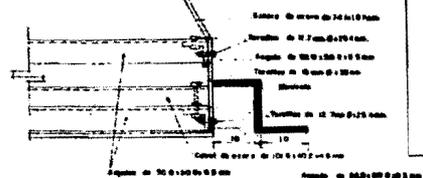
**DETALLE A'**



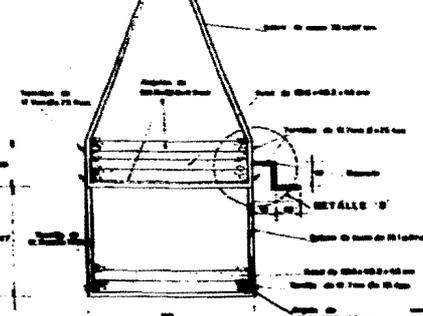
**DETALLE C'**



**DETALLE W'**



**DETALLE D'**



**VISTA DE FRENTE**  
ESC. 1/5

- NOTAS:**
1. Todos los dimensionales están en un ejemplo no indicados en otro sentido.
  2. La placa de metal suministrada de 3.00 x 0.81 m se partió en dos piezas de 1.50 x 0.81 m.

**LISTA DE MATERIALES**

1. Tubo de acero galvanizado 3.00x0.81m.	12.00 kg
2. Láminas suministradas de aluminio usual 3.00 x 0.81 m.	1.00 kg
3. Anillo de acero de 50.0 x 50.0 x 5.0 mm.	0.05 kg
4. Cable de acero de 10.0 x 40.0 x 4.0 mm.	54.00 kg
5. Puntos con buches de bronce y grapas de 500.0 mm Ø exterior y fondo de 100.0 mm.	2.00 kg
6. Tornillo de 12.7 mm Ø 75.2	10.00 kg
7. Tornillo para láminas (pines) de 5.00 x 2.00 mm	2.00 kg
8. Tubo de acero galvanizado de 10 mm Ø	1.00 kg
9. Separador de acero de 50.0 x 75.0 mm	4.00 kg
10. Tornillo de 12.7 mm Ø 38.4 mm	1.00 kg
11. Clavos de 125 mm Ø	1.00 kg
12. Tapa de 200 mm Ø	2.00 kg

**UNAM**  
FACULTAD DE  
INGENIERIA

**ALBERTO ARROYO M.**

CANASTILLA PARA  
AFORO

PLANO 8

Este método consiste en usar la pendiente de la superficie del agua en un tramo uniforme del canal y el promedio del área de la sección transversal en ese tramo.

Se debe escoger un tramo recto del canal, este tramo deberá estar libre de rápidas, caídas bruscas, contracciones súbitas o expansiones. También es importante que el gasto permanezca constante a lo largo del tramo, es decir, que no existan entradas intermedias de gasto en el tramo considerado.

La pendiente se puede determinar dividiendo la diferencia de elevaciones de la superficie del agua o de la planta en los dos extremos del tramo. Se deben colocar puntos de aforo referidos a un mismo plano de nivel y si es posible, en pozos de tranquilización.

Por otra parte, el gasto está en relación directa con el coeficiente de rugosidad de Manning, lo que origina que un error en la valuación del coeficiente modifique el valor del --gasto.

Este criterio sólo es conveniente emplearlo cuando no se pueda emplear el método de la sección - velocidad o para complementar los registros obtenidos por ese método. Este problema se tiene en las lumbreras del Interceptor Poniente, del cual se hará mención en el proyecto # 5.

II.2.3.a **PROYECTO DE MEDICION SOBRE LAS LUMBRERAS 20 Y 21  
PARA EL AFORO DEL INTERCEPTOR PONIENTE.**

a).- ANTECEDENTES

Las lumbreras 20 y 21 están localizadas en Naucalpan, Edo. de México. Estas lumbreras son la penúltima y última respectivamente del Interceptor Poniente antes de que sus aguas des carguen al Río de los Remedios.

Al medir el gasto que descarga el Interceptor, y como ya se conoce el gasto que conduce el Río de los Remedios antes de la descarga, se sabrá el gasto que sale del Distrito Federal; ésto es, el Río de los Remedios no recibe ninguna otra descarga importante además de la mencionada después de la estación exis- tente.

El Interceptor Poniente conduce las aguas negras en una tubería hecha en "situ" de 4 m de diámetro, la cual llega a traba jar a presión debido a la gran cantidad de agua que tiene que con ducir.

b).- OBJETIVOS Y ALCANCES

El proyecto consiste en la estación de medición neces aria para el aforo de los gastos que conduce el Interceptor Ponien te, antes de su descarga al Río de los Remedios.

En este caso, existe la dificultad de aforar siguiendo procedimientos tradicionales, por la falta de sitios adecuados pa ra ello y se plantea aquí la posibilidad más viable de medición

de niveles a través de las lumbreras. Con el gradiente de energía se analiza el escurrimiento en sus diferentes condiciones de funcionamiento: a superficie libre y a presión, determinando el gasto correspondiente.

La medición realizada de esta manera tiene algunos inconvenientes que se analizan con detalle y al final se presentan las conclusiones y recomendaciones del caso.

El sistema de medición se compone de dos sitios con - - limnógrafo, uno ubicado en la lumbrera No. 20 del Interceptor Poniente y otro en la lumbrera No. 21. Los sitios se eligieron por ser los más cercanos a la descarga del interceptor y porque aparentemente no existen aportaciones adicionales entre ambas. Del análisis de funcionamiento hidráulico del interceptor a tubo lleno, se obtuvo una serie de curvas que relacionan el desnivel de la superficie libre del agua entre las dos lumbreras con el gasto y el nivel del agua en una de ellas. De esta manera, conociendo el desnivel en base a los niveles registrados por los limnógrafos, se podrán conocer los gastos que pasarán por el interceptor a partir de las curvas mencionadas.

#### c).- ACTIVIDADES REALIZADAS

En principio se realizó una visita a las lumbreras 20 y 21 del Interceptor a fin de conocer la geometría de las mismas, -

localizar el sitio más favorable para la instalación de los limnigrafos y proyectar las estructuras auxiliares necesarias para su buena operación.

La boca de entrada a las lumbreras indicadas queda ubicada al centro de la calle lateral del periférico y definitivamente tiene un acceso difícil. Por esta razón se pensó en un proyecto que contemple un acceso lateral sobre la banqueta.

También se visitó el portal de salida de dicho interceptor sobre el Río de los Remedios, donde se observó que la descarga es ahogada para la mayoría de las condiciones, ya que la plantilla del túnel queda muy por debajo de la plantilla del río. Esto se muestra en la fotografía No. 7.

Para la obtención de las curvas teóricas se analizaron los siguientes tipos posibles de funcionamiento:

Caso 1.- A superficie libre (tubo parcialmente lleno)

Caso 2.- Como tubería forzada (tubería totalmente llena y a presión).



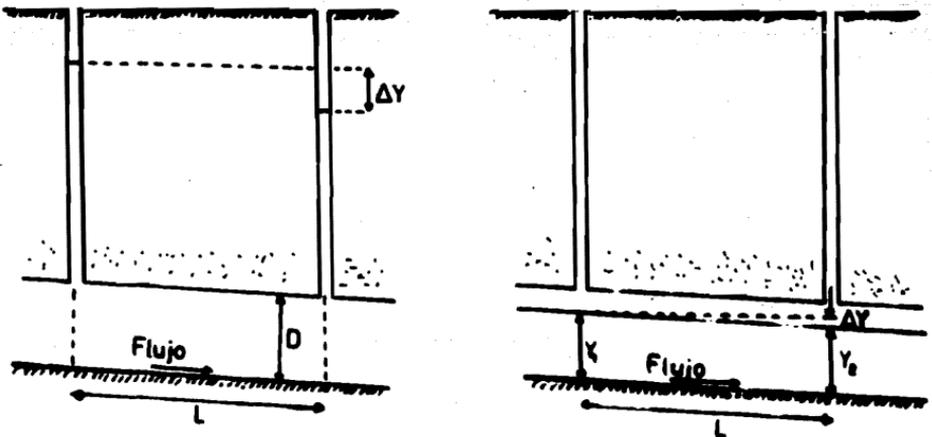
Fotografía 7

En el caso de un conducto trabajando a presión (figura 17a), de la fórmula de Darcy-Weisbach la pérdida por fricción es

$$\Delta Y = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = f \frac{L}{D} \frac{Q^2}{2gA^2}$$

donde  $f$  es el factor de fricción. De aquí despejando a  $Q$  resulta:

$$Q = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{2g D^5 \Delta Y}{f L}} \quad (1)$$



a

Figura 17

b

La ecuación(1) permite calcular el gasto en el conducto conociendo su geometría, rugosidad, distancia en que se produ

ce la pérdida y el desnivel  $\Delta y$  medido entre las dos lumbreras. Esto será posible siempre y cuando el gasto permanezca constante a lo largo de  $L$  y del tiempo; esto es, siempre que no haya ingreso de algún gasto dentro del tramo  $L$  y que no haya variación del gasto en el tiempo.

En el caso de que el conducto trabaje a superficie libre (Figura 17 b) de la ecuación de energía se tiene:

$$SoL + Y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = Y_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta h$$

y de la ecuación de continuidad:

$$\frac{v_1^2}{2g} = \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 \frac{v_2^2}{2g}$$

que substituída en la ecuación anterior y despejando el gasto, se obtiene que:

$$Q = A_2 \sqrt{\frac{2g (\Delta Y - h_f)}{1 - \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2}}$$

donde  $\Delta Y = SoL + Y_1 - Y_2$  representa el desnivel de la superficie libre del agua medida entre las dos lumbreras y  $h_f$  la pérdida por fricción en el tramo.

Debido a que la plantilla del interceptor en la sección de descarga queda por debajo de la correspondiente al Río de los Remedios, es muy probable que la descarga sea ahogada y produzca un remanso hacia aguas arriba con un perfil de flujo variado tipo M-1 (figura 18) El perfil tipo M-2 es más remoto que ocurra por la forma de descarga antes señalada.

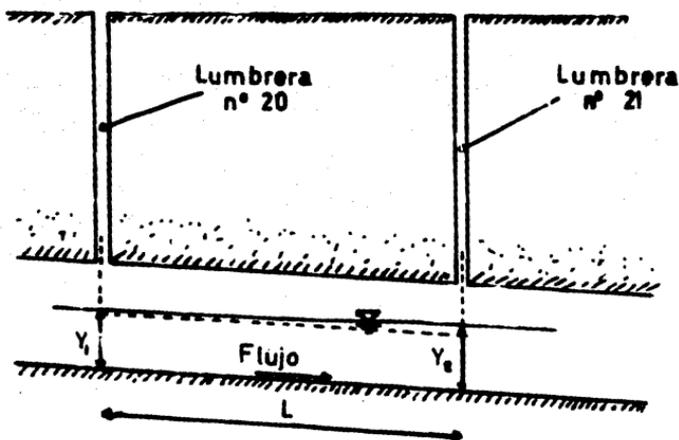


Figura 18

Estas condiciones de funcionamiento a superficie libre se verán más afectadas por la forma de descarga y por el paso de avenidas en las que el reacomodo de perfiles en el tiempo ocasionará problemas de medición y en ciertos casos de interpretación de los resultados.

En el plano 10 aparecen las curvas para el primer tipo de funcionamiento, las que relacionan el tirante medido en la lumbrera 21 ( $Y_2$ ), el desnivel de la superficie libre del agua entre las dos secciones ( $\Delta Y$ ), y el gasto ( $Q$ ).

Para determinar  $\Delta Y$  se deberá aplicar la siguiente expresión:

$$\Delta Y = 0.5 + Y_1 - Y_2$$

donde:

$\Delta Y$  , desnivel de la superficie libre del agua medida entre las dos lumbreras, en m.

$Y_1$  , tirante del agua en la lumbrera 20, en m.

$Y_2$  , tirante del agua en la lumbrera 21, en m.

0.5, desnivel entre las plantillas del túnel sobre las dos lumbreras, en m, de acuerdo con el plano proporcionado por la D.G.C.O.H.

Como se observa en el plano 10 no hay curvas para  $\Delta Y$  mayores de 0.5 m, ya que esa situación corresponde a otro tipo de perfil, que en caso de presentarse sería en flujo transitorio y de interpretación muy compleja.

En el plano 11 aparece la curva para el segundo tipo de funcionamiento en el cual el interceptor trabaja totalmente a presión, es decir, cuando los niveles de agua registrados en ambas lumbreras sean mayores que el diámetro de la tubería (4m). Cuando ocurra el caso en que el nivel del agua en la lumbrera 20

(aguas arriba) sea menor de 4 m y el de la lumbrera 21 (aguas abajo) sea mayor de 4 m; se utilizarán las curvas del plano en las cuales ya está contemplado este problema.

En lo referente al limnigrafo, para poder tener un fácil acceso después de su instalación y darle un mantenimiento adecuado, deberá construirse una caseta como se muestra en el plano

e).- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Desde el punto de vista de medición, es posible utilizar el sistema que aquí se presenta el cual es una solución factible ante la imposibilidad de una mejor, ya que no se previeron las estructuras adecuadas. Sin embargo, deben señalarse los principales inconvenientes que se observarán cuando se inicie la operación del sistema.

Estos inconvenientes son:

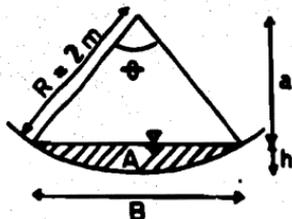
1).- El tránsito de las avenidas de corta duración produce un escurrimiento no permanente y gradualmente variado en el conducto, que hará cambiar los niveles en las lumbreras con mucha rapidez. Pudiera ocurrir que por intervalos cortos las mediciones de niveles efectuados se salieran del rango para el que fueron calculadas las curvas. En otros casos, podrían tenerse -

desniveles  $\Delta Y$  negativos de difícil interpretación dado que dependerían mucho del instante en que se midieran y de la parte del hidrograma de la avenida que en ese mismo instante estuviera transitando por el conducto. Recordar que las curvas se obtuvieron para escurrimiento permanente.

2).- A pesar de que será posible tener un registro continuo de niveles en las dos lumbreras, los inconvenientes anteriores podrían producir problemas de interpretación de la información en que podrían resultar más interesantes e importantes.

3).- Habrá incertidumbre en cuanto a los factores de fricción  $f$  (de Darcy) o  $n$  (de Manning), cuya apreciación resulta sumamente importante en un sistema basado en el gradiente hidráulico del escurrimiento.

Cálculo de áreas (A) y anchos de superficie libre (B) para diferentes tirantes (h) de la sección del Interceptor Potente.



$$a = R - h$$

$$B = 2 \sqrt{R^2 - a^2}$$

$$\theta = 2 \cos^{-1} \frac{a}{R}$$

$$A = \pi R^2 \frac{\theta}{360^\circ} - \frac{B(R-h)}{2}$$

N	h	a	B	$\theta$	$\pi R^2 \frac{\theta}{360^\circ}$	$\frac{B(R-h)}{2}$	A
1	0.1	1.9	1.25	36.4	1.270	1.187	0.083
2	0.2	1.8	1.74	51.7	1.804	1.566	0.238
3	0.3	1.7	2.11	63.6	2.219	1.793	0.426
4	0.4	1.6	2.40	73.7	2.574	1.920	0.654
5	0.5	1.5	2.65	82.8	2.891	1.987	0.904
6	0.6	1.4	2.85	91.1	3.121	1.995	1.186
7	0.7	1.3	3.04	98.9	3.453	1.976	1.477
8	0.8	1.2	3.20	106.2	3.709	1.920	1.789
9	0.9	1.1	3.34	113.2	3.953	1.837	2.116
10	1.0	1.0	3.46	120.0	4.188	1.730	2.458
11	1.1	0.9	3.57	126.5	4.416	1.606	2.809
12	1.2	0.8	3.66	132.8	4.637	1.464	3.173
13	1.3	0.7	3.75	139.0	4.853	1.312	3.540
14	1.4	0.6	3.82	145.1	5.064	1.146	3.918
15	1.5	0.5	3.87	151.0	5.272	0.967	4.305
16	1.6	0.4	3.92	156.9	5.477	0.784	4.693
17	1.7	0.3	3.95	162.7	5.681	0.592	5.088
18	1.8	0.2	3.98	168.5	5.882	0.398	5.482
19	1.9	0.1	3.99	174.2	6.083	0.199	5.883
20	2.0	0.0	4.00	180.0	6.283	0	6.283

N	A*	B*	h
20	6.683	3.99	2.1
19	7.084	3.98	2.2
18	7.478	3.95	2.3
17	7.873	3.92	2.4
16	8.261	3.87	2.5
15	8.648	3.82	2.6
14	9.026	3.75	2.7
13	9.393	3.66	2.8
12	9.757	3.57	2.9
11	10.108	3.46	3.0

N	A*	B*	h
10	10.450	3.34	3.1
9	10.777	3.20	3.2
8	11.089	3.04	3.3
7	11.380	2.85	3.4
6	11.662	2.65	3.5
5	11.912	2.40	3.6
4	12.140	2.11	3.7
3	12.328	1.74	3.8
2	12.483	1.25	3.9
1	12.566	0	4.0

$$A_N^* = A_N - A_{N-1} + A_{N-2}.$$

$$B_N^* = B_N$$

Cálculo de la curva : Tirantes normales - Gastos.

Q	$\frac{Qn}{D^{8/3} S^{1/2}}$	Y/D	Y	A	P	Rh <sup>2/3</sup>	Q		
0.5	.0043	0.07	0.28	0.4	2.136	.3273	0.377		
			0.35	0.54	2.394		0.57		
			0.32	0.472	2.289		0.474		
			0.33	0.494	2.324		0.507		
1.0	.0086	0.118	0.472	0.834	2.80		1.03		
2.0	0.017	0.16	0.64	1.302	3.288		2.02		
5.0	0.043	0.23	0.92	2.1844	3.997		4.20		
			0.95	2.287	4.07		4.48		
			1.00	2.458	4.188		5.015		
10.00	0.086	0.36	1.441	4.088	5.155		10.08		
20.00	0.172	0.53	2.12	6.763	6.522		19.94		
			2.13	6.803	6.542		20.09		
			3.00	10.108	8.376		32.98		
			3.50	11.662	9.674		38.00		
			3.65	12.026	10.169		38.71		
			3.75	12.24	10.544		38.91		
			3.80	12.328	10.76		38.85		
			3.90	12.483	11.294		38.41		
3.95	12.524	11.13		37.23					
4.00	12.566	18.564		36.12					

$$s = 0.0014 \frac{Qn}{D^{8/3} S^{1/2}} = \frac{A Rh^{2/3}}{D^{8/3}}$$

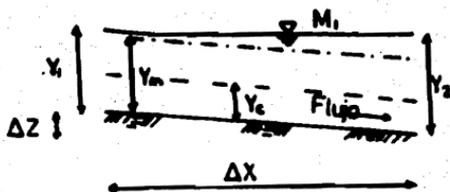
$$n = 0.013$$

## Cálculo de la curva: Tirantes críticos - Gastos.

Q	$\frac{Q}{D^{5/2} \sqrt{g}}$	$Y_c/D$	$Y_c$	$A_c$	$A_c^3$	$B_c$	$A_c^3/B_c$	$Q^2/g$
0.5	0.005	0.06	0.24	0.313	0.0307	1.888	0.016	0.025
			0.27	0.369	0.0502	1.999	0.025	
1.0	0.0099	0.097	0.388	0.626	0.246	2.365	0.104	0.102
2.0	0.0199	0.13	0.52	0.96	0.886	2.67	0.332	0.408
			0.55	1.045	1.141	2.75	0.415	
5.0	0.498	0.22	0.88	2.05	8.623	3.31	2.603	2.548
			0.87	2.02	8.217	3.30	2.491	
			0.875	2.035	8.427	3.305	2.549	
20.0	0.1995	0.44	1.76	5.324	150.94	3.968	38.04	40.77
			1.78	5.404	157.81	3.974	39.71	
			1.79	5.444	161.34	3.978	40.56	
36.17	0.361	0.61	2.44	8.028	517.43	3.90	132.67	133.36
			2.45	8.067	524.97	3.895	134.78	
			2.443	8.0397	519.66	3.899	133.28	

Cálculo de las curvas : Tirantes -  $\Delta y$  - Gastos.

Para un tipo de curva  $M_1$



$$\Delta Y = \Delta z + Y_1 - Y_2$$

$$\Delta x = 379.2 \text{ m.}$$

$$\Delta z = 0.5 \text{ m.}$$

$$N = 0.013$$

$Y_1$	$Y_2$	$\Delta y$	$A_1$	$A_2$	$P_1$	$P_2$	hf	Q
0.5	0.6	0.4	0.904	1.186	2.89	3.18	0.446	1.327
	0.7	0.3		1.477		3.452	0.366	1.301
	0.8	0.2		1.789		3.71	0.262	1.155
	0.9	0.1		2.11		3.95	0.137	0.852
1.0	1.1	0.4	2.458	2.809	4.188	4.415	0.452	5.129
	1.2	0.3		3.173		4.636	0.386	5.049
	1.3	0.2		3.54		4.852	0.293	4.614
	1.4	0.0		3.918		5.064	0.166	3.578

$Y_1$	$Y_2$	$\Delta y$	$A_1$	$A_2$	$P_1$	$P_2$	$hf$	$Q$
1.5	1.6	0.4	4.305	4.693	5.272	5.477	0.452	10.816
	1.7	0.3		5.088		5.680	0.387	10.552
	1.8	0.2		5.482		5.882	0.297	9.593
	1.9	0.1		5.883		6.082	0.173	7.559
2.0	2.1	0.4	6.283	6.683	6.292	6.482	0.448	17.893
	2.2	0.3		7.084		6.682	0.379	16.935
	2.3	0.2		7.478		6.884	0.288	15.224
	2.4	0.1		7.873		7.087	0.165	11.775
2.5	2.6	0.4	8.261	8.648	7.293	7.5	0.441	25.048
	2.7	0.3		9.026		7.712	0.366	23.382
	2.8	0.2		9.393		7.928	0.271	20.487
	2.9	0.1		9.757		8.149	0.152	15.691
3.0	3.1	0.4	10.108	10.45	8.376	8.614	0.431	31.068
	3.2	0.3		10.777		8.854	0.349	28.575
	3.3	0.2		11.089		9.112	0.251	24.588
	3.4	0.1		11.380		9.384	0.135	18.233
3.5	3.6	0.4	11.666	11.912	9.674	9.994	0.419	35.846
3.5	3.7	0.3	11.666	12.140		10.345	0.328	31.110
3.5	3.8	0.2	11.666	12.328	9.674	10.76	0.226	25.689
3.5	3.9	0.1	11.666	12.483	9.674	11.294	0.116	18.320

$Y_1$	$Y_2$	$\Delta y$	$A_1$	$A_2$	$P_1$	$P_2$	hf	Q
3.6	4.0	0.1	11.912	12.566	9.994	12.564	0.1113	17.6154
3.7	4.0	0.2	12.14	12.566	10.345	12.564	0.2138	24.51
3.8	4.0	0.3	12.328	12.566	10.76	12.564	0.3110	29.55
3.9	4.0	0.4	12.483	12.566	11.294	12.564	0.4048	33.537
3.6	4.0	0.1	11.91	12.566	9.994	12.564	0.1113	17.615
3.7	4.1	0.1	12.14	12.566	10.345	12.564	0.1067	17.31
3.8	4.2	0.1	12.32	12.566	10.76	12.564	0.1037	17.05
3.9	4.3	0.1	12.48	12.566	11.294	12.564	0.1011	16.78
3.85	4.15	0.2	12.40	12.56	11.027	12.564	0.2049	23.925
3.90	4.1	0.3	12.483	12.56	11.294	12.564	0.3036	29.03
3.99	4.4	0.1	12.557	12.566	12.437	12.566	0.1001	16.235
3.99	4.3	0.2	12.557	12.566	12.437	12.566	0.2002	23.00
3.99	4.2	0.3	12.557	12.566	12.437	12.566	0.3003	28.27
3.99	4.1	0.4	12.557	12.566	12.437	12.566	0.4005	32.86
0.05	0.5	0.05	0.0415	0.904	0.635	2.89	0.0523	0.008
1.05	1.5	0.05	2.633	4.305	4.301	5.278	0.09	2.95
2.55	3.0	0.05	8.454	10.108	7.396	8.376	0.079	11.63
3.55	4.0	0.05	11.787	12.566	9.834	12.564	0.057	12.60
3.75	4.2	0.05	12.234	12.566	10.552	12.564	0.050	12.10
3.90	4.35	0.05	12.483	12.566	11.294	12.564	0.050	11.80
3.99	4.44	0.05	12.557	12.566	12.437	12.564	0.057	11.38

$Y_1$	$Y_2$	$\Delta Y$	$A_1$	$A_2$	$P_1$	$P_2$	hf	Q
0.01	0.5	.01	0.0083	0.904	0.127	2.89		
1.01	1.5	.01	2.493	4.305	4.211	5.272	0.019	1.28
2.51	3.0	.01	8.299	10.108	7.313	8.376	0.017	5.38
3.51	4.0	.01	11.687	12.566	9.706	12.564	0.012	5.63
3.75	4.24	.01	12.234	12.566	10.552	12.564	0.0105	5.46
3.90	4.39	.01	12.483	12.566	11.294	12.564	0.0101	5.30
3.99	4.48	.01	12.557	12.566	12.437	12.564	0.0101	5.29
0.52	1.0	.02	0.960	2.458	2.948	4.188	0.0285	0.426
0.53	1.0	.03	0.988	2.458	2.977	4.188	0.043	0.545
0.54	1.0	.04	1.017	2.458	3.006	4.188	0.0575	0.6546
0.56	1.0	.06	1.073	2.458	3.064	4.188	0.0868	0.8648
0.57	1.0	.07	1.101	2.458	3.093	4.188	0.101	0.9604
0.58	1.0	.08	1.129	2.458	3.122	4.188	0.115	1.053
0.59	1.0	.09	1.158	2.458	3.151	4.188	0.13	1.163
0.62	1.0	.12	1.244	2.458	3.234	4.188	0.173	1.471
0.64	1.0	.14	1.302	2.458	3.288	4.188	0.201	1.679
0.66	1.0	.16	1.360	2.458	3.343	4.188	0.228	1.886
0.68	1.0	.18	1.419	2.458	3.397	4.188	0.254	2.094
0.70	1.0	.20	1.477	2.458	3.452	4.188	0.278	2.286
0.72	1.0	.22	1.539	2.458	3.503	4.188	0.302	2.504
0.74	1.0	.24	1.602	2.458	3.555	4.188	0.324	2.712
0.76	1.0	.26	1.664	2.458	3.607	4.188	0.345	2.920
0.78	1.0	.28	1.726	2.458	3.658	4.188	0.364	3.112
0.82	1.0	.32	1.854	2.458	3.758	4.188	0.40	3.538
0.84	1.0	.34	1.919	2.458	3.806	4.188	0.413	3.675

$Y_1$	$Y_2$	$\Delta y$	$A_1$	$A_2$	$P_1$	$P_2$	hf	Q
0.86	10	.36	1.985	2.458	3.854	4.188	0.427	3.859
0.88	10	.38	2.050	2.458	3.902	4.188	0.440	4.031
0.925	10	.425	2.201	2.458	4.009	4.188	0.4655	4.407
0.95	10	.45	2.287	2.458	4.069	4.188	0.4777	4.6007
0.975	10	.475	2.372	2.458	4.366	4.188	0.5055	4.8276
1.52	2.0	.02	4.382	6.283	5.313	6.283	0.039	3.733
1.53	2.0	.03	4.421	6.283	5.333	6.283	0.0578	4.595
1.54	2.0	.04	4.460	6.283	5.354	6.283	0.0755	5.284
1.56	2.0	.06	4.458	6.283	5.395	6.283	0.113	6.451
1.57	2.0	.07	4.576	6.283	5.415	6.283	0.137	7.253
1.58	2.0	.08	4.615	6.283	5.436	6.283	0.142	7.501
1.59	2.0	.09	4.654	6.283	5.456	6.283	0.1575	7.972
1.62	2.0	.12	4.772	6.283	5.517	6.283	0.200	9.19
1.64	2.0	.14	4.851	6.283	5.558	6.283	0.226	9.91
1.66	2.0	.16	4.93	6.283	5.599	6.283	0.2505	10.59
1.68	2.0	.18	5.009	5.283	5.639	6.283	0.2732	11.22
1.72	2.0	.22	5.157	6.283	5.517	6.283	0.3188	12.64
1.74	2.0	.24	5.245	6.283	5.558	6.283	0.3373	13.16
1.76	2.0	.26	5.324	6.283	5.598	6.283	0.3547	13.66
1.78	2.0	.28	5.403	6.283	5.639	6.283	0.3684	14.14
1.82	2.0	.32	5.562	6.283	5.922	6.283	0.398	14.80
1.84	2.0	.34	5.642	6.283	5.962	6.283	0.4116	15.20
1.86	2.0	.36	5.722	6.283	6.002	6.283	0.4247	15.60
1.88	2.0	.38	5.803	6.283	6.042	6.283	0.4368	16.00

$Y_1$	$Y_2$	$\Delta y$	$A_1$	$A_2$	$P_1$	$P_2$	hf	Q
1.925	2.0	.425	5.983	6.283	6.132	6.282	.46261	16.833
1.95	2.0	.45	6.083	6.283	6.182	6.282	.4757	17.27
1.975	2.0	.47	6.183	6.283	6.232	6.282	.4830	17.60
2.52	3.0	.02	8.34	10.108	7.332	8.376	.0330	7.454
2.53	3.0	.03	8.37	10.108	7.352	8.376	.0489	9.091
2.54	3.0	.04	8.416	10.108	7.372	8.376	.0642	10.47
2.56	3.0	.06	8.49	10.108	7.412	8.376	.0938	12.74
2.57	3.0	.07	8.53	10.108	7.432	8.376	.108	13.73
2.58	3.0	.08	8.57	10.108	7.452	8.376	.1218	14.62
2.59	3.0	.09	8.61	10.108	7.472	8.376	.1350	15.44
2.62	3.0	.12	8.724	10.108	7.542	8.376	.1733	17.66
2.64	3.0	.14	8.799	10.108	7.585	8.376	.1975	18.97
2.66	3.0	.16	8.875	10.108	7.627	8.376	.2202	20.16
2.68	3.0	.18	8.95	10.108	7.669	8.376	.2421	21.26
2.72	3.0	.22	9.10	10.108	7.755	8.376	.2831	23.26
2.74	3.0	.24	9.17	10.108	7.798	8.376	.3027	24.17
2.76	3.0	.26	9.246	10.108	7.842	8.376	.321	25.03
2.78	3.0	.28	9.319	10.108	7.885	8.376	.3388	25.84
2.82	3.0	.32	9.466	10.108	7.972	8.376	.3724	27.38
2.84	3.0	.34	9.538	10.108	8.016	8.376	.3885	28.10
2.86	3.0	.36	9.611	10.108	8.06	8.376	.4038	28.78
2.88	3.0	.38	9.684	10.108	8.105	8.376	.4187	29.44
2.92	3.0	.425	9.844	10.108	8.206	8.376	.4508	30.86
2.95	3.0	.45	9.932	10.108	8.26	8.376	.4678	31.60
2.975	3.0	.475	10.02	10.108	8.32	8.376	.4841	32.31

$Y_1$	$Y_2$	$\Delta y$	$A_1$	$A_2$	$P_1$	$P_2$	$h_f$	$Q$
3.52	4.0	.02	11.712	12.566	9.738	12.564	.0231	8.00
3.54	4.0	.04	11.762	12.566	9.80	12.564	.0459	11.27
3.56	4.0	.06	11.812	12.566	9.866	12.564	.0680	13.73
3.58	4.0	.08	11.862	12.566	9.93	12.564	.0898	15.80
3.62	4.0	.12	11.957	12.566	10.064	12.564	.1324	19.18
3.64	4.0	.14	12.00	12.566	10.134	12.564	.1532	20.70
3.66	4.0	.16	12.05	12.566	10.204	12.564	.1737	22.07
3.68	4.0	.18	12.094	12.566	10.275	12.564	.1939	23.32
3.72	4.0	.22	12.177	12.566	10.428	12.564	.2337	25.62
3.74	4.0	.24	12.215	12.566	10.511	12.564	.2535	26.68
3.76	4.0	.26	12.253	12.566	10.594	12.564	.2727	27.67
3.78	4.0	.28	12.29	12.566	10.677	12.564	.2920	28.63
3.82	4.0	.32	12.36	12.566	10.867	12.564	.3305	30.43
3.84	4.0	.34	12.39	12.566	10.974	12.564	.349	31.24
3.86	4.0	.36	12.42	12.566	11.08	12.564	.3678	32.05
3.88	4.0	.38	12.45	12.566	11.182	12.564	.3864	32.80
3.925	4.0	.425	12.387	12.566	11.611	12.564	.4360	34.29
3.95	4.0	.45	12.447	12.566	11.929	12.564	.4574	34.95
3.975	4.0	.47	12.50	12.566	12.246	12.564	.474	35.40
3.99	4.47	.02	12.557	12.566	12.437	12.564	0.02002	7.35
3.99	4.46	.03	12.557	12.566	12.437	12.564	0.03003	8.54
3.99	4.45	.04	12.557	12.566	12.437	12.564	0.040049	10.29

$Y_1$	$Y_2$	$\Delta Y$	$A_1$	$A_2$	$P_1$	$P_2$	hf	Q
3.99	4.43	.06	12.557	12.566	12.437	12.564	0.060073	12.56
3.99	4.42	.07	12.557	12.566	12.437	12.564	0.070086	13.66
3.99	4.41	.08	12.557	18.566	12.437	12.564	0.080098	14.55
3.99	4.40	.09	12.557	12.566	12.437	12.564	0.09011	15.42
3.99	4.37	.12	12.557	12.566	12.437	12.564	0.12014	17.39
3.99	4.35	.04	12.557	12.566	12.437	12.564	.014098	19.27
3.99	4.33	.16	12.557	12.566	12.437	12.564	0.16019	20.26
3.99	4.31	.18	12.557	12.566	12.437	12.564	0.18022	21.80
3.99	4.27	.22	12.557	12.566	12.437	12.564	0.22027	24.15
3.99	4.25	.24	12.557	12.566	12.437	12.564	0.24029	25.03
3.99	4.23	.26	12.557	12.566	12.437	12.564	0.26032	26.29
3.99	4.21	.28	12.557	12.566	12.437	12.564	0.28035	27.30
3.99	4.17	.32	12.557	12.566	12.437	12.564	0.32039	29.03
3.99	4.15	.34	12.557	12.566	12.437	12.564	0.34042	30.12
3.99	4.13	.36	12.557	12.566	12.437	12.564	0.36044	30.83
3.99	4.11	.38	12.557	12.566	12.437	12.564	0.38047	31.66
3.99	4.06	.425	12.557	12.566	12.437	12.564	0.42552	33.52
3.99	4.04	.45	12.557	12.566	12.437	12.564	0.45055	34.47
3.99	4.02	.47	12.557	12.566	12.437	12.564	0.47057	35.25
3.62	4.1	.02	11.957	12.566	10.064	12.564	.0221	7.854
3.63	4.1	.03	11.980	12.566	10.099	12.564	.0331	9.630
3.64	4.1	.04	12.00	12.566	10.134	12.564	.0438	11.071
3.66	4.1	.06	12.05	12.566	10.204	12.564	.0651	13.50

$Y_1$	$Y_2$	$\Delta y$	$A_1$	$A_2$	$P_1$	$P_2$	hf	Q
3.67	4.1	.07	12.071	12.566	10.239	12.564	.0757	14.57
3.68	4.1	.08	12.094	12.566	10.275	12.564	.0862	15.55
3.69	4.1	.09	12.117	12.566	10.325	12.564	.0966	16.46
3.72	4.1	.12	12.177	12.566	10.428	12.564	.1274	18.92
3.74	4.1	.14	12.215	12.566	10.511	12.564	.1478	20.40
3.76	4.1	.16	12.253	12.566	10.594	12.564	.1678	21.72
3.78	4.1	.18	12.29	12.566	10.677	12.564	.1877	22.96
3.82	4.1	.22	12.36	12.566	10.867	12.564	.2269	25.22
3.84	4.1	.24	12.39	12.566	10.974	12.564	.2463	26.24
3.86	4.1	.26	12.42	12.566	11.08	12.564	.26561	27.22
3.88	4.1	.28	12.45	12.566	11.187	12.564	.2847	28.15
3.92	4.1	.32	12.50	12.566	11.548	12.564	.3230	29.80
3.94	4.1	.34	12.516	12.566	11.802	12.564	.3424	30.50
3.96	4.1	.36	12.532	12.566	12.056	12.564	.3617	31.15
3.98	4.1	.38	12.55	12.566	12.31	12.564	.3808	31.77
3.72	4.2	0.02	12.177	12.556	10.429	12.564	.0212	7.724
3.73	4.2	0.03	12.196	12.556	10.469	12.564	.0317	9.450
3.74	4.2	0.04	12.215	12.556	10.511	12.564	.0422	10.20
3.76	4.2	0.06	12.253	12.556	10.594	12.564	.0629	13.30
3.77	4.2	0.07	12.271	12.556	10.635	12.564	.0732	14.34
3.78	4.2	0.08	12.29	12.556	10.677	12.564	.0834	15.31
3.79	4.2	0.09	12.313	12.556	10.740	12.564	.0935	16.20
3.82	4.2	0.12	12.36	12.556	10.867	12.564	.1237	18.62

$Y_1$	$Y_2$	$\Delta Y$	$A_1$	$A_2$	$P_1$	$P_2$	hf	Q
3.84	4.2	0.14	12.39	12.556	10.974	12.564	.1437	20.04
3.86	4.2	0.16	12.42	12.556	11.08	12.564	.1634	21.35
3.88	4.2	0.18	12.45	12.556	11.187	12.564	.1830	22.57
3.92	4.2	0.22	12.50	12.556	11.548	12.564	.2220	24.73
3.94	4.2	0.24	12.516	12.556	11.802	12.564	.2410	25.57
3.96	4.2	0.26	12.532	12.556	12.056	12.564	.2612	26.45
3.98	4.2	0.28	12.55	12.556	12.31	12.564	.2806	27.28
3.53	4.0	.03	11.737	12.566	9.77	12.564	.0345	9.76
3.57	4.0	.07	11.837	12.566	9.90	12.564	.0790	14.82
3.59	4.0	.09	11.88	12.566	9.962	12.564	.1007	16.74

Cálculo de la curva " $\Delta_y$  - Gastos" a tubo lleno

$$Q = \sqrt{\frac{2g D A \Delta_y}{fL}}$$

$$D = 4.0 \text{ m}$$

$$A = 12.56 \text{ m}^2$$

$$L = 379.2 \text{ m}$$

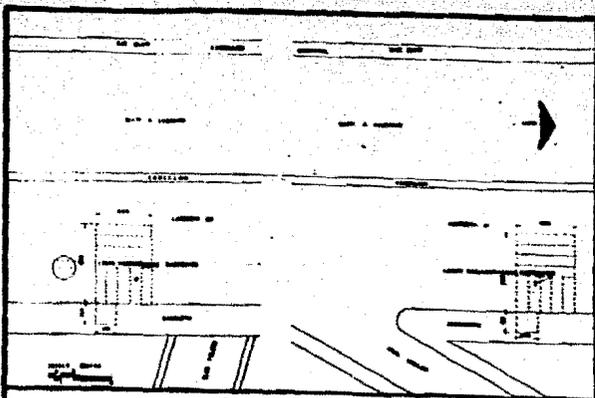
$$f = F(\text{Re}, \epsilon/D)$$

$\epsilon = 0.5 \text{ mm}$  (Conductos de concreto armado, varios años de servicio)

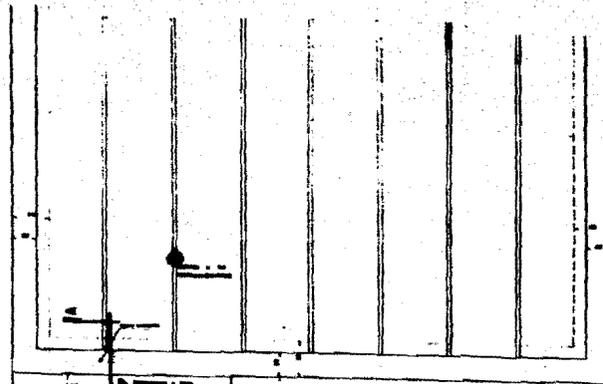
$$D = 4,000 \text{ mm}$$

$$\% f = 0.0125$$

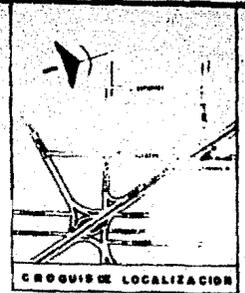
$\Delta_y$ (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)
0.05	11.42
0.1	16.16
0.2	22.85
0.3	27.79
0.4	32.32
0.5	36.13
0.6	39.58
0.8	45.70
1.0	51.01
1.2	55.97
1.4	60.46
1.7	66.66
2.0	72.30



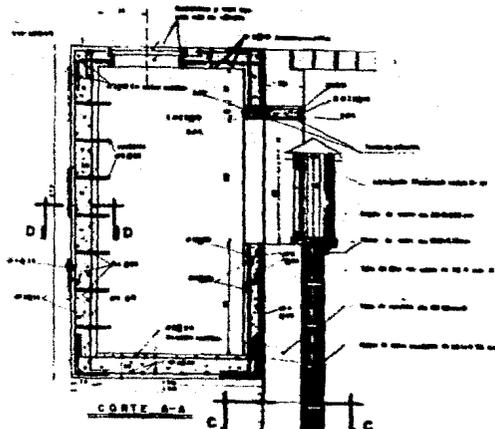
PLANTA GENERAL



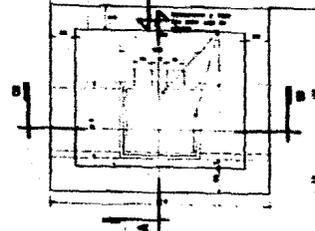
PLANTA TIPO



CROQUIS DE LOCALIZACION



CORTE A-A



CORTE B-B

CANTIDADES ESTIMADAS

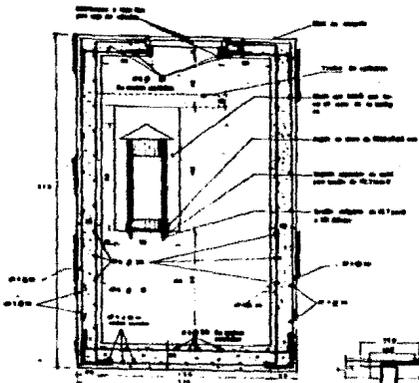
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD
1.	...	...	...
2.	...	...	...
3.	...	...	...
4.	...	...	...
5.	...	...	...
6.	...	...	...
7.	...	...	...
8.	...	...	...
9.	...	...	...
10.	...	...	...

NOTAS

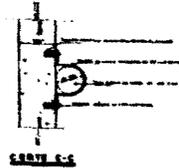
1. Las dimensiones son en metros, salvo que se indique lo contrario.
2. Escala 1/50 y 1/100 según corresponda.
3. Los muros exteriores son de 20 cm de espesor.
4. Los muros interiores son de 10 cm de espesor.
5. Las puertas y ventanas son de tipo estándar.
6. Los pisos son de tipo estándar.
7. Los techos son de tipo estándar.
8. Los acabados son de tipo estándar.
9. Los materiales son de tipo estándar.
10. Los precios son de tipo estándar.



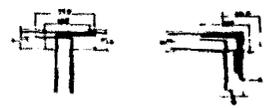
DETALLE PARA MUESTRAS DE LUMBRERA



CORTE C-C



CORTE D-D



DETALLE TIPO DE MUESTRAS

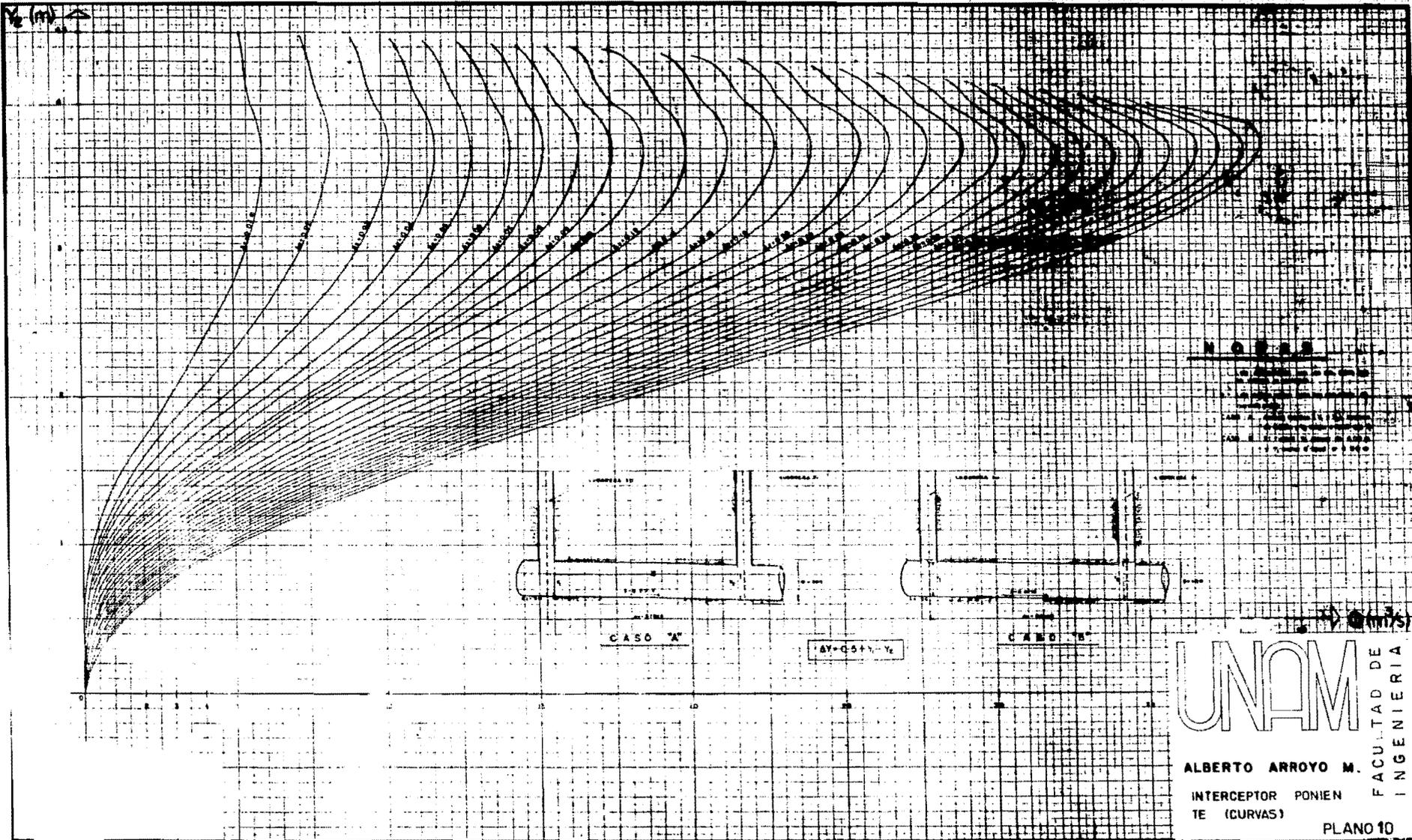
# UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA

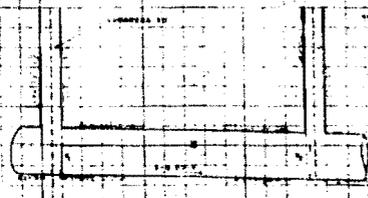
ALBERTO ARROYO M.

INTERCEPTOR PONIEN  
TE (LUMBRERAS 20  
V 21)

PLANO 9

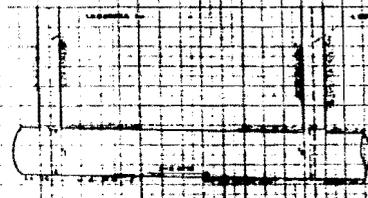


N O T A  
 1. El interceptor debe ser construido en concreto armado.  
 2. El ancho del interceptor debe ser de 1.20 m.  
 3. El alto del interceptor debe ser de 1.20 m.  
 4. El largo del interceptor debe ser de 3.00 m.  
 5. El interceptor debe tener una pendiente de 0.5%.



CASO "A"

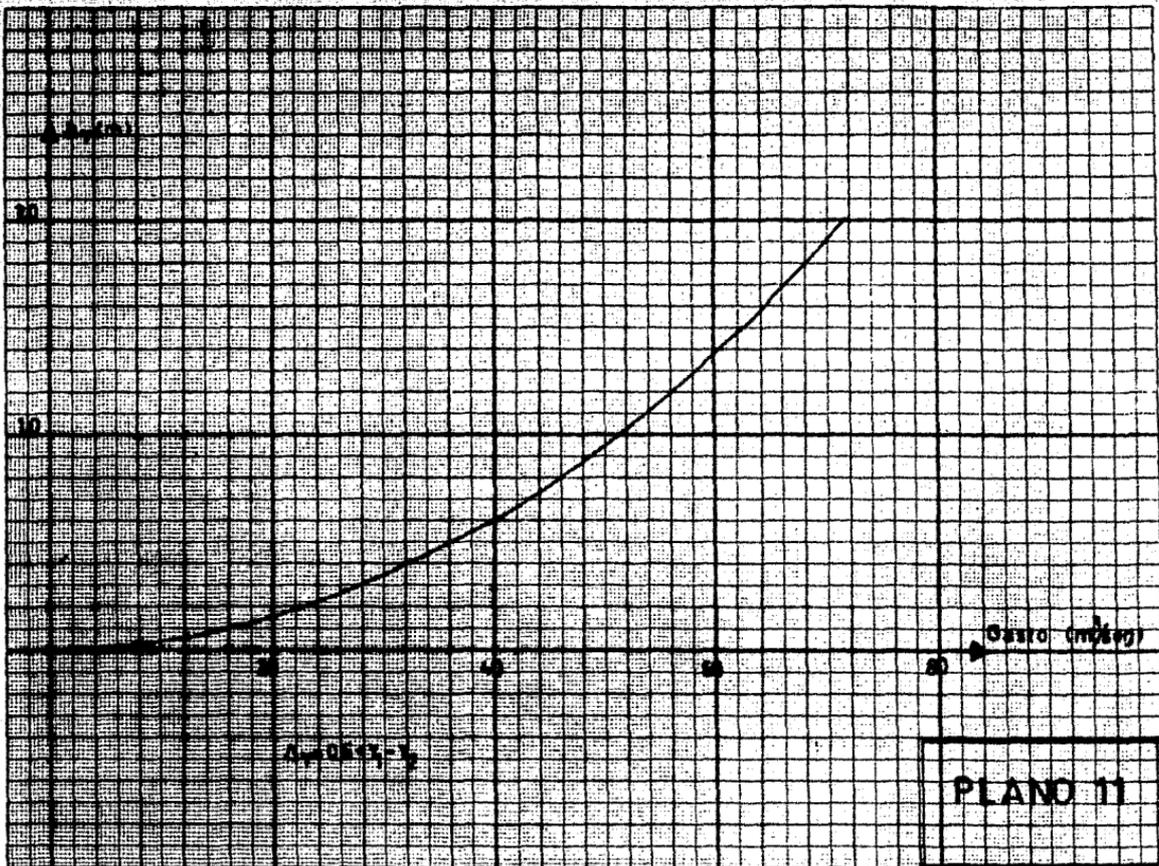
$$AY = C \cdot S + \frac{V_e}{2}$$



CASO "B"

**UNAM**  
 FACULTAD DE  
 INGENIERIA

ALBERTO ARROYO M.  
 INTERCEPTOR PONIENTE  
 (CURVAS)



### III.-ESTRUCTURAS AUXILIARES.

#### III.-1.- ELEMENTOS SECUNDARIOS DE MEDICION.

Los medidores de flujo diferencial pueden ser divididos en dos clases:

Medidores operados mecánicamente.

Medidores operados eléctricamente.

A los primeros se les denomina de este modo, - debido a que el cuerpo medidor está conectado al instrumento por medio de un eje o de algún otro medio mecánico y a los segundos, porque están conectados eléctricamente.

En los medidores mecánicos, es posible obtener una transmisión remota, pero ésta estaría limitada a una distancia corta, aproximadamente 30m., dependiendo de la marca.

En los medidores eléctricos, el elemento secundario (cuerpo transmisor), puede estar colocado a cualquier - distancia del instrumento indicado, sin afectar su exactitud en la medición, por lo que éste instrumento es ideal para -- transmisión a largas distancias.

Otro tipo de transmisión remota es la que se obtiene neumáticamente a distancias no mayores de 300m., como término medio, usando un medidor mecánico en combinación con un sistema neumático, el cual se instala junto al elemento primario.

### III.1.a.- MEDIDORES DE TIPO MECANICO.

La operación del elemento secundario es la siguiente, tomando como ejemplo el tipo "Brown".

El medidor mecánico Brown, es un tubo en "U", - en el cual un flotador, operando sobre mercurio, transmite la presión diferencial a los elementos de indicación, tales como la pluma o el puntero del registrador. Fig. 19.

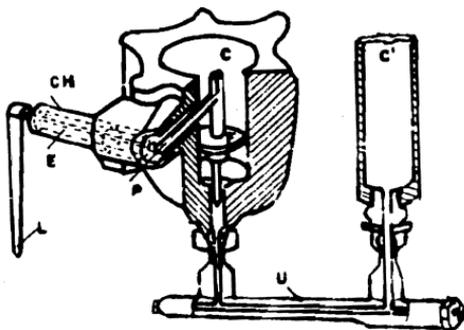


Figura 19

Un flotador grande y potente (F) de metal sólido, se conecta por medio de la palanca (P) a un eje (E) que pasa al lado exterior, a través de una chumacera a prueba de presión --- (CH). Una cámara de mercurio de alta presión (C) se conecta a otra de menor presión (C') por medio del tubo de u (U). Las tomas de alta y baja presión se conectan a la parte superior de las cámaras de alta y baja presión (C) y (C') respectivamente. El movimiento del flotador es transmitido por medio de la palanca (P) al eje (E), y de ésta a la pluma o al puntero (L).

### III.1.b.- MEDIDORES DE TIPO ELECTRICO

Los medidores de tipo eléctrico usan el mismo método de medición que el tipo mecánico, es decir, detectan la presión diferencial por medio de un manómetro. En el medidor de flujo de tipo eléctrico, el movimiento del flotador es transmitido eléctricamente del cuerpo medidor al instrumento indicador, -- por lo que el tipo eléctrico tiene algunas ventajas sobre el mecánico, que son:

El instrumento puede ser instalado a gran distancia del cuerpo medidor, además es posible operar dos o más instrumentos con un solo cuerpo medidor.

La figura 20 ilustra el medidor de flujo Brown a base del puente de inducción. Esencialmente consiste de un manómetro -

transmisor y un indicador o registrador receptor. Su principio de operación es el del equilibrio entre las posiciones de dos núcleos colocados, uno en la bobina del transmisor y el otro - en la bobina del receptor.

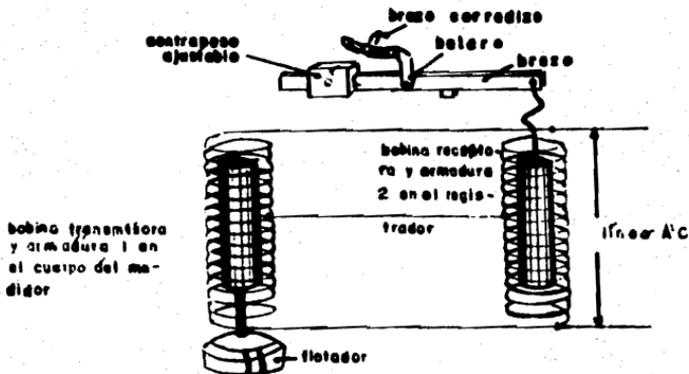


Figura 20

Para aplicar ésta transmisión de movimientos al medidor de flujo del tipo eléctrico, se fija la armadura al flotador - en la cámara de alta presión del elemento de medición secundario (cuerpo transmisor) y la otra armadura se conecta por medio de un eslabonamiento a la pluma en el aparato registrador. La bobina "A" está montada dentro del cuerpo transmisor, mientras que la bobina "B" se encuentra en el instrumento.

### III.1.c.- TRANSMISION NEUMATICA.

Este sistema consiste en un transmisor indicador montado

adyacente a las bridas de los elementos primarios. Fig. 21

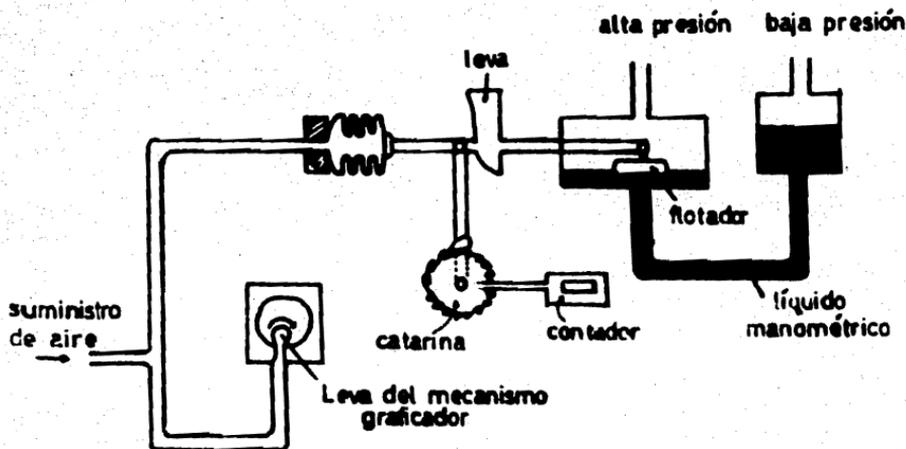


Figura 21

Dicho transmisor tiene un mecanismo relevador neumático que transforma las unidades de flujo medido en incrementos de presión de aire. Estos cambios de presión de aire, son transmitidos a un instrumento receptor a través de una tubería. - El instrumento receptor es un manómetro de presión operado -- por un diafragma y un resorte, pudiendo operar una pluma o un puntero que se muevan sobre gráficas o escalas calibradas en unidades de flujo.

Aunque la función primordial de un medidor de flujo - de presión diferencial, es dar una indicación del gasto de un fluido determinado en cualquier momento, las aplicaciones de la medición de flujo en cualquier campo, requieren que los medidores puedan realizar alguna función simultáneamente. Estas funciones pueden ser:

- a Indicación
- b Registro
- c Transmisión
- d Totalización

a).- La función de indicación consiste en señalar en una carátula o algún otro tipo de escala, alguna de estas dos variables: Gasto del fluido o diferencia de presiones.

La indicación del gasto tiene por objeto dar al operador una indicación visual del valor del mismo, ya sea para permitirle ejercer alguna forma de control sobre la cantidad de flujo o llevar un registro de sus valores a intervalos determinados. - (Fig. 22 ). Se usa frecuentemente combinada con funciones de registro para proporcionar al operador los valores continuos.

La indicación del valor de la diferencia de presiones es frecuente en medidores con funciones de totalización pero sin funciones de registro. Este tipo de indicación debe estar com---

plementado con gráficas que relacionen el valor de la diferencial, con el valor del gasto.

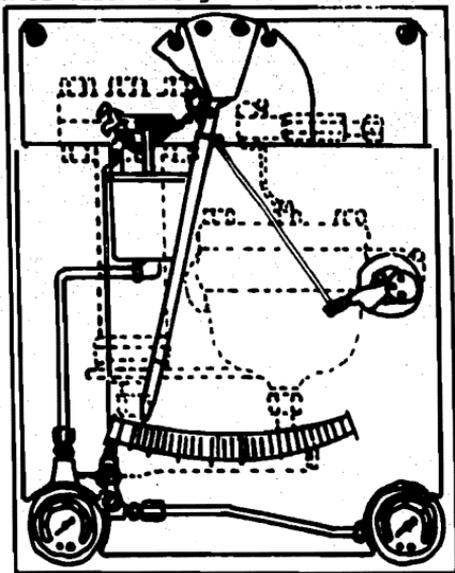


Figura 22

b).- Registro.- Esta función consiste en registrar gráficamente los valores del gasto en forma continua. La importancia de esta función debe ser estimada en todo su valor, ya que sin ella se corre el riesgo de que el dispositivo totalizador pueda funcionar durante lapsos considerables con valores --

del gasto superiores o inferiores al rango adecuado para su -- buen comportamiento, sin que quede registro de esta situación-anormal.

Por otra parte, en operaciones de planta, las gráficas de registro constituyen una comprobación permanente de las condiciones bajo las cuales se efectúa el proceso, aún en los momentos en que no sea posible una supervisión directa.

c).- Transmisión.- Es la función que permite a los medidores enviar una señal proporcional a la presión diferencial, a un lugar que se encuentre más o menos alejado del punto en que se efectúa la medición, por ejemplo a un tablero de control.

d).- La totalización es la función que permite determinar la cantidad total de fluido que ha pasado a través del elemento primario, esta función es esencial para los propósitos de contabilidad interna de las plantas o para operaciones de compra o venta de fluidos.

## III.2. OTROS APARATOS PRIMARIOS DE MEDICION

He mencionado algunos de los elementos primarios de medición, sin embargo existen muchos otros que no los he incluido. Algunos de éstos no existen en el mercado nacional y otros han sido incluidos recientemente, aunque a la fecha no se usan ampliamente. A continuación menciono algunos de ellos.

## a).- Medidores de flujo magnético.

Este tipo de medidores basan su funcionamiento en las leyes de inducción de Faraday las cuales establecen, que un potencial eléctrico se produce debido al movimiento relativo de un conductor y un campo magnético cuando éste ocurre en forma perpendicular. (Fig. 23) En este medidor el conductor es el líquido.

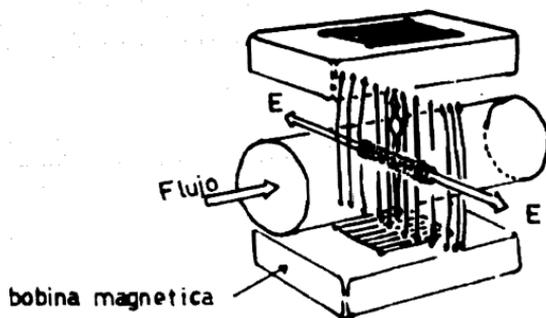


Figura 23

Algunas ventajas de este medidor son las siguientes:

No existe ninguna obstrucción en el paso del fluido.

La medición de lodos y de fluidos abrasivos, corrosivos u otros fluidos difíciles de medir son factibles con este medidor.

La configuración de la tubería no es importante ya que mide velocidad.

Algunas desventajas son:

El fluido debe cumplir con un mínimo de conductividad especificada por el fabricante.

Las burbujas producen errores en la medición.

La suciedad que se pueda acumular sobre los electrodos puede reducir o eliminar totalmente la señal generada.

b).- Medidores de impacto

Este tipo de medidores, miden el flujo mediante la fuerza producida sobre un disco o blanco centrado en la línea, con el plano de impacto formando un ángulo de  $90^\circ$  con la dirección del flujo. El flujo produce una fuerza sobre el blanco que es proporcional al cuadrado del flujo.

c).- Medidores de ultrasonido

Este aparato transmite un rayo de ultrasonido (sonido ultrasónico), a través de la pared del tubo y del líquido, y es recibido por un transductor después de atravesar la otra pared del tubo.

Mientras pasa a través del líquido, el rayo de velocidad se incrementa o decrece proporcionalmente a la velocidad del flujo del líquido. El transductor se puede conectar a un señalador, totalizador o graficador.

Su operación es independiente de la temperatura del líquido, densidad o corrosión, depende únicamente de la conductividad del líquido para dejar pasar ultrasonido.

Como no está en contacto con el líquido no se tapa o se daña por el paso de aguas contaminadas, ni obstruye su paso, además como va agarrado con unas abrazaderas en la parte exterior de la tubería, no es necesario que deje de circular el agua por la tubería durante su instalación.

**d).- Medidores de resonancia nuclear magnéticas.**

Operan bajo el principio de que algunos fluidos pueden ser ligeramente magnetizados cuando pasan a través de un campo magnético. Se usa energía de radio frecuencia para amplificar el efecto magnético y producir señales adecuadas.

### III.3. MEDIDORES DE "NIVEL"

Existe una amplia variedad de aparatos medidores de nivel para cumplir con las necesidades de medición. Existen desde el más simple y económico como la regla graduada hasta sistemas eléctricos de control remoto cuando se necesita indicación, registro y control.

En todos los proyectos precedentes mencioné al limnógrafo para la medición de los niveles debido a su comprobada exactitud, durabilidad y confiabilidad en cualquier situación, clima y lugar, además de dejar un registro continuo de fácil interpretación y manejo a un precio muy competitivo, pero existen otros medios menos usados y con la misma efectividad, como son:

#### a).- Dispositivos de capacitancia

Estos dispositivos utilizan uno de los elementos fundamentales de los circuitos eléctricos, el capacitor o el condensador.

Un capacitor está constituido por dos conductores llamados placas, separados por un aislante llamado dieléctrico. Normalmente se piensa en un capacitor como un par de pequeñas placas paralelas separadas por aire u otro dieléctrico especial. Sin embargo, el uso de la capacitancia para medir el nivel es usada-

como una probeta, similar a la mostrada en la Fig. 24, es como una placa mientras que el fondo del conducto sirve como la otra placa. El material entre la probeta y el conducto es el dieléctrico. Por lo tanto el dieléctrico varía a medida que cambia el nivel en el conducto (nivel a y nivel b), y como la capacitancia es una función del dieléctrico y la distancia entre las placas, entonces se puede conocer el nivel.

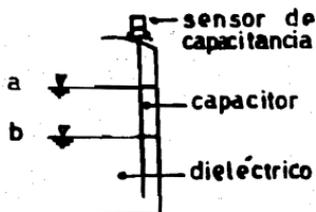


Figura 24

Este aparato se puede usar para muchas aplicaciones de medición de niveles difíciles, además, tiene la ventaja de no tener partes móviles y su fácil instalación y mantenimiento, sin embargo, existen varias condiciones que hay que tomar en cuenta:

La constante dieléctrica cambia con la temperatura.

Los cambios químicos de material afectan la constante dieléctrica.

### b).- DISPOSITIVOS DE ULTRASONIDO

El concepto involucra la medición del tiempo, un intervalo que empieza con el envío de una señal ultrasónica, por el transmisor de la unidad y que termina con la recepción del eco regresado por el material medido. La velocidad del sonido viajando a través del medio, cambia con las propiedades de cada medio y con la condición de temperatura y presión. Cuando las condiciones del medio son conocidas, la determinación de la distancia recorrida, puede relacionarse directamente con el nivel.

El sensor debe instalarse y apuntarse para dirigir la señal ultrasónica hacia el material que se va a medir para proporcionar la trayectoria de medición más directa (Fig. 25)

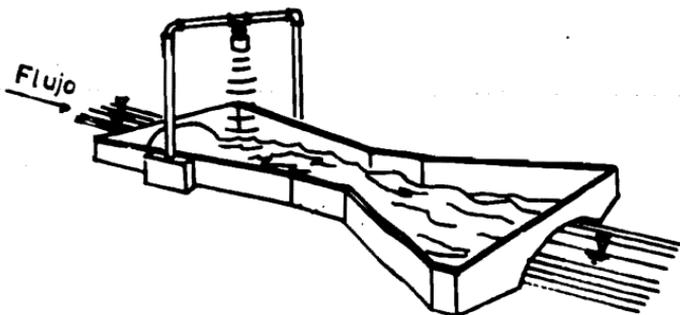


Figura 25

Algunos fabricantes utilizan un solo dispositivo para generar la señal y recibir su eco, otros utilizan dispositivos separados de transmisión y recepción.

c).- BURBUJEADORES

Este medidor utiliza un tubo sumergido en el líquido - que se mide al cual se conecta una fuente de gas de suficiente - presión para vencer la columna de líquido y que el aire o gas -- burbujee a través del líquido. El nivel o presión hidrostática- es medido por un manómetro o celda de presión diferencial. La - lectura puede ser local o remota. (Fig. 26)



Figura 26

En la figura 26 se muestra un burbujeador de aire. Se usa un regulador de gas hasta unos cuantos kilogramos arriba de la presión hidrostática máxima que deberá vencer para burbujear- a través del líquido. Después del regulador se instala un dispo

sitivo que nos da la indicación que ha establecido el flujo de gas. Una combinación de rotámetro con un regulador de presión proporcionan un flujo constante a través del burbujeador.

La desventaja de este aparato es que la salida del -  
aire se puede tapar y producir errores en las lecturas.

#### III.4. LIMNIGRAFO

Este aparato aunque no elimina el factor humano, proporciona mayor seguridad en los registros de alturas, que una persona que lea una regleta, y sobre todo, proporciona un registro -- continuo de todas las variaciones del nivel.

Se fabrican diversos tipos de limnigrafos, pero todos -- consisten esencialmente de las siguientes partes: un flotador -- que sube o baja siguiendo las fluctuaciones de nivel del agua; un dispositivo de transmisión de los movimientos en determinada proporción y un reloj que sirve para regular la marcha del aparato y medir el tiempo.

Los limnigrafos registran las variaciones de nivel del -- agua sobre una hoja de papel graduado, por medio de una línea continua, de tal manera que los desalojamientos en un sentido son proporcionales a los tiempos transcurridos y los que se verifican en sentido normal al anterior son proporcionales a su vez a las va--riaciones de nivel; es decir, mediante un aparato de relojería va--trazando con una plumilla o lápiz, las variaciones del nivel sobre una hoja de papel graduado, en la cual están señaladas todas las -- horas del día, y ajustando el mecanismo, de tal modo que cada parte del trazo queda marcado sobre la parte que corresponde a la hora en que se registra.

En los diversos modelos que se fabrican de estos aparatos, se encuentran variantes que consisten principalmente en el periodo que comprende la gráfica y las escalas de los desajustamientos, lo primero implica variedades en el tamaño de la hoja y en la duración de la cuerda del reloj, es decir, hay aparatos para ocho días de registro, un mes, etc. Por lo que se refiere a la escala éstas son generalmente de 1 ó 2 mm. por hora para los tiempos y de 1:1, 1:5, etc., para las fluctuaciones de nivel.

En la fotografía #8 se muestra un lianigrafo como el propuesto. Este modelo tiene la ventaja de ser muy ligero y resistente, para poder colocarlo en cualquier tipo de flujo (aguas negras, corrosivas, etc.)



FOTOGRAFIA # 8

### III.5. MOLINETE

Para la determinación de la velocidad del agua en las corrientes, el aparato más comúnmente usado es el molinete hidráulico, el cual tiene grandes ventajas en comparación con otros procedimientos entre los que se pueden nombrar: su relativo bajo costo; la posibilidad de utilizar un mismo aparato para medir varias corrientes, y su tamaño, que lo hace fácilmente transportable.

El molinete hidráulico consiste esencialmente de dos partes principales que son: una rueda provista de un dispositivo, mediante el cual el agua en movimiento la hace girar, y un mecanismo que permite contar o medir el número de vueltas que da la citada rueda.

Generalmente la rueda que gira lleva unas aspas o copas sobre las cuales el agua, al chocar, ejerce una fuerza que le imprime un movimiento de rotación, tanto más rápido cuanto mayor sea la velocidad de la corriente. Conociendo el número de vueltas que da la rueda y el tiempo empleado en darlas, se puede conocer la velocidad del agua con ayuda de una tabla calculada al efecto para cada molinete.

Para contar el número de vueltas que da la rueda, se utilizan diversos sistemas de acuerdo con el tipo de molinete,

siendo el más práctico el eléctrico, que transmite una señal perceptible a un audífono, cada cierto número de vueltas de la rueda.

Además, a fin de que por sí solo se oriente convenientemente al aparato en la dirección del movimiento del agua, va provisto de un timón compuesto de dos hojas de lámina una horizontal y otra vertical.

Los molinetes comerciales son de dos tipos generales (referencia 3): el tipo de hélice con eje horizontal y el tipo de copas con eje vertical.

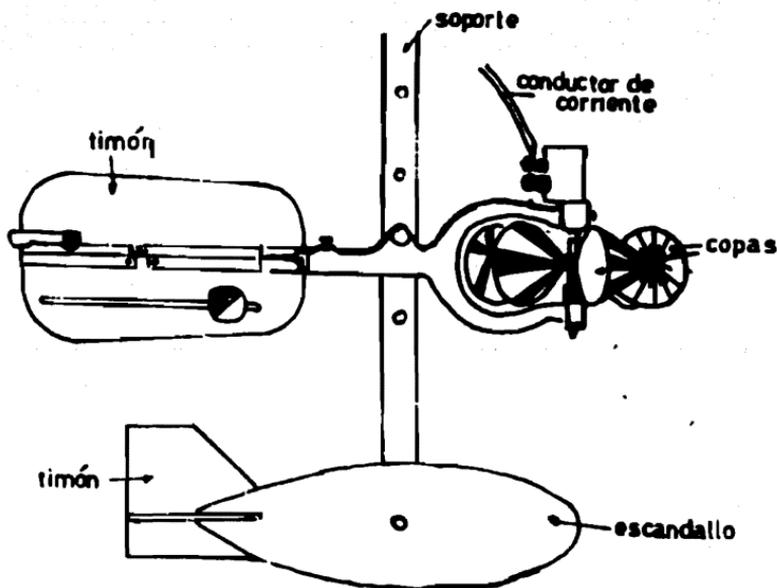


Figura 27

Para la operación del molinete, los puntos de medición se deben localizar en una sección transversal que forme un ángulo recto con la dirección del flujo. Se debe usar un cable-guía para establecer los puntos de medición o dejar marcas en un lugar invariable y visible. Los puntos de medida deben ser marcados a intervalos entre 0.5 a 3.5 m dependiendo del tamaño de la corriente o canal.

Debido a que la precisión es grandemente afectada por la basura o por daños, el instrumento debe ser calibrado al menos una vez al año.

#### IV.- ESPECIFICACIONES Y RECOMENDACIONES

Los proyectos se basan en suposiciones respecto a la calidad del trabajo que se obtendrá durante la colocación o construcción. Las especificaciones constituyen la forma de describir la calidad supuesta y es importante que los trabajos se realicen de acuerdo a estas especificaciones. En los proyectos precedentes se hizo incapié en algunos aspectos cuando ello lo ameritaba y este capítulo tan sólo completa los anteriores en cuanto a especificaciones se refiere.

En las recomendaciones se enumeran los principales factores que intervienen en la selección de los medidores descritos.

Los medidores se deben inspeccionar regularmente para detectar si existe desgaste anormal, corrosión o cualquier otro cambio que pueda alterar la precisión del medidor.

Para mediciones de líquidos, el líquido manométrico utilizado la mayor parte de las veces es el mercurio. Este se usa por las siguientes ventajas: su densidad es exactamente conocida, es estable, no se mezcla con otros líquidos, forma un menisco definido. Su principal característica es que posee un peso específico mayor a todos los líquidos cono

cidos y por consiguiente no es adecuado para usarse cuando se trabaja con diferencias pequeñas, en cuyo caso se pueden utilizar otros líquidos tales como: Tetracloruro de carbono (peso específico 1.583) y Bromoformo (peso específico 2.831)

#### IV.1. SELECCION DEL ELEMENTO PRIMARIO

En estas recomendaciones se hace un análisis comparativo de los medidores y se enumeran los principales factores que intervienen en la selección de los medidores descritos.

##### a).- PLACA DE ORIFICIO O DIAFRAGMA

Tiene una pérdida de presión permanente muy grande, - en comparación con el venturímetro y la tobera.

Es fácilmente reproducible, además puede producirse en serie.

Es de más bajo costo que las toberas o los venturímetros debido a la poca cantidad de material con que se construyen y el poco tiempo involucrado en su construcción, además - es más fácil instalarse y reemplazarse que cualquiera de los otros medidores (venturímetros y tobera).

Requiere inspección periódica, ya que es muy factible que se acumulen basuras y sedimentos en su contorno, ocasionando errores en la medición.

##### b).- TOBERA

Tiene una mediana pérdida de presión permanente.

Requiere poco mantenimiento.

Permite el paso de 1.6 veces más fluido que la placa de orificio bajo las mismas condiciones de operación.

Se obtiene mayor diferencial que en el tubo de venturi.

Mayor costo que la placa de orificio y menor que el tubo de venturi.

c).- VENTURIMETRO

Tiene una mínima pérdida de presión permanente.

Requiere la menor longitud de tubería recta en el lado de entrada.

Requiere poco mantenimiento, casi nulo.

El más adecuado para la medición de fluidos con sólidos en suspensión.

Se instala en la tubería de la misma manera que cualquier tubo de tipo común y corriente.

El de mayor costo.

d).- ANNUBAR

Los orificios son más pequeños y se pueden tapar con -

mucha facilidad, ocasionando lecturas erróneas.

Pequeños errores en la colocación del elemento, tales como los mostrados en la fig. 28 , producen errores de consideración.

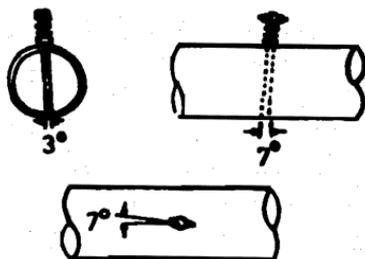


Figura 28

Se puede instalar sin necesidad de suspender el flujo del fluido.

Aún no es un aparato de uso común debido a su reciente introducción al mercado.

e).- MEDIDORES DE CODO

Es menos restrictivo con respecto a los otros elementos en lo referente a las longitudes mínimas aguas arriba y aguas

abajo especificadas para el funcionamiento adecuado, en los cuales no deben existir elementos perturbadores del flujo - (válvulas, cambios de dirección, etc.)

Las tomas de presión deben ser perpendiculares a la pared de la tubería, ya que pequeñas variaciones pueden originar errores considerables en la medición.

Ya que no interfiere en el flujo, la posibilidad de que se obstruyan las tomas piezométricas es igual a la de los otros elementos (venturímetros, toberas y orificios)

Su uso no requiere modificaciones en las tuberías en que ya existan codos, ya que puede efectuarse una substitución del existente por otro en el que se coloquen medidores de presión o simplemente rehabilitar un codo existente, con sólo colocar en el lugar apropiado las tomas piezométricas.

La ventaja de este medidor, es que no produce una pérdida de carga adicional en la tubería en la que ya existan codos.

Sólo se puede colocar en codos que tengan una deflexión de  $90^\circ$ , ya que aún no se ha hecho ninguna publicación de experiencias con codos de diferentes ángulos en México.

Para lograr mayor precisión en los aforos de los dispositivos mencionados, se recomienda (referencia 1) tener un tramo de tubería de por lo menos 10 a 40 diámetros antes de ellos y de por lo menos 5 después.

#### f) VERTEDORES

Las partes críticas son fácilmente inspeccionadas y cualquier operación inadecuada se puede detectar y corregir.

Cuando existe suficiente caída para medir el agua con un vertedor y la cantidad de agua por medir no es muy grande, usualmente se escoge por ser más útil y económico en comparación con el orificio ahogado y el medidor Parshall.

Es menos susceptible a interferencias de basura que los orificios ahogados y son más fácilmente visibles.

El vertedor deberá instalarse al centro de un canal recto que tenga una longitud mínima de diez veces la longitud de cresta del vertedor (referencia 1).

Los vertedores se pueden usar más efectivamente siempre que exista una caída de aproximadamente 0.15 m. o más disponible en el canal o conducto.

Es simple y seguro cuando se utiliza en condiciones favorables.

#### g) ORIFICIOS AHOGADOS

La superficie del agua, aguas arriba del orificio, siem-

pre debe estar bastante arriba del borde superior de la abertura.

El orificio ahogado conserva carga y por lo tanto, se usa donde hay una caída insuficiente para un vertedor y donde un medidor Parshall no justifica su costo.

Las acumulaciones de desechos sumergidos o de arena y sedimentos aguas arriba del orificio, pueden evitar mediciones exactas.

#### h).- MEDIDOR PARSHALL

Puede operar con pérdidas de carga relativamente pequeñas.

Es relativamente poco sensible al efecto de la velocidad de llegada.

Tiene la capacidad de hacer buenas mediciones sin ahogamiento o con moderado ahogamiento.

Su velocidad de flujo es suficientemente alta para eliminar el depósito de sedimentos dentro de la estructura durante su operación.

La pérdida de carga es sólo aproximadamente de un cuarto de la que se necesita para operar un vertedor que tenga la misma longitud de cresta.

Requiere de una cimentación impermeable y sólida.

Usualmente son más costosos que los vertedores y los orificios sumergidos.

Requiere de mano de obra especializada para una construcción satisfactoria y un buen funcionamiento.

Se debe localizar en una sección recta del canal.

Es necesario tener información sobre los gastos máximo y mínimo, los tirantes de flujo, la velocidad mínima y las dimensiones del canal en el sitio elegido para su selección.

El flujo que llega debe quedar bien distribuido a travez del canal, libre de turbulencias, remolinos y ondas.

Permite el paso de gastos mayores que aquellos que resultan prácticos con un vertedor.

La estación de aforo con molinete debe ser el medio de aforo más práctico cuando la cantidad de agua es grande y las condiciones y costos de operación no son favorables para el uso de vertedores, medidores Parshall u orificios ahogados.

## CONCLUSIONES

- 1) El campo de la medición es ilimitado, y el presente trabajo sólo pretende servir como orientación a las personas que se interesen en conocer las características de cualquier flujo.
- 2) El propósito de este estudio es presentar un panorama general de esta especialidad de la Ingeniería, combinando lo teórico con lo práctico y ateniéndose a los principios fundamentales.
- 3) Los proyectos que exhibo son sólo tendientes a la presentación de una alternativa final que a mi juicio es -- factible realizar; pero no necesariamente será la única y habrá peritos con más experiencia en este campo que tengan constataada la valía de otros instrumentos de medición que tal vez superen a los aquí expuestos.
- 4) Los dispositivos y métodos de medición de flujo que presento en esta tesis, son los más comúnmente usados para mediciones de flúidos; su relativa simplicidad hace que sean -- muy apropiados para uso general y la experiencia obtenida los ha hecho confiables. Pero, además de esos métodos y debido al avance de la tecnología, nuevos tipos de medidores más especializados se desarrollan y desarrollarán para satisfacer nuevas necesidades y un mejor manejo de las actuales.

5) Los registros de los aforos de corrientes proporcionan la información más segura con respecto a sus características y deben consultarse siempre que se pueda disponer de ellos; es por ello que resulta importante proyectar con mucho cuidado la estación de medición que sea más conveniente - según las características del lugar.

6) Los medidores deben tener un mantenimiento - - constante para que haya fidelidad en los registros cuando sean utilizados por técnicos para trabajos de toda índole.

7) La necesidad de un mejor control y de un uso - más adecuado del agua en los años venideros, requerirán que - se mida ésta con mayor precisión, para de esa forma darle un - mejor aprovechamiento.

8) Dentro del gran número de medidores con los que cuenta actualmente la Ingeniería, tenemos los medidores de - - presión diferencial que son utilizados para solucionar los problemas de medición de flujo debido "según mi concepto" a las - siguientes ventajas que ellos presentan:

a) Pueden usarse para efectuar mediciones en cual-- quier clase de fluido, con contadas excepciones.

b) No tienen partes móviles sumergidas en el fluido a medirse; consecuentemente, no hay desgaste mecánico en dichas partes móviles del medidor.

c) Las dimensiones de los conductos en los que pueden ser instalados, no tienen límite y están determinados únicamente por consideraciones de construcción. Un medidor de presión diferencial para una tubería de 2 cm de diámetro operará de una manera igualmente satisfactoria que uno diseñado para un ducto de 2 m de diámetro.

d) El principio de operación en que se basa, facilita la adición de diversos mecanismos para la transmisión de los registros de flujo a distancias remotas.

9) La localización correcta del elemento primario en la tubería es de la mayor importancia ya que cualquier disturbio en el flujo producido por un trazo incorrecto en la tubería, al modificar la distribución transversal de velocidades en la misma, puede afectar la exactitud de la medición. Para asegurar una distribución de velocidades transversales uniformes en la tubería, es necesario que el elemento primario se instale entre tramos rectos de tubería con longitudes mínimas, tanto aguas arriba como aguas abajo.

10) En la parte de especificaciones y recomendaciones, cité las ventajas y desventajas de los elementos primarios comúnmente usados y en mi opinión el codo de 90° es el que considero adecuado para usarse, debido a que en un conducto cualquiera siempre existirá más de un codo. Queda como tema para un análisis más profundo, experimentar en codos diferentes a los 90° para advertir si puede haber avance o superación con los que hemos estudiado hasta el presente.

11) Cada medición se tiene que realizar tomando en cuenta las condiciones del medio existente sujeto a estudio, para que el diseño de la estación sea el adecuado. Una gran variedad de situaciones se encuentran en el campo como son: el clima, la topografía, los arrastres de sedimentos, etc. La simpleza o sofisticación con que se construya una estación de medición en particular, dependerá por lo tanto de las condiciones que se encuentren en cada lugar.

12) Las principales consideraciones para la selección y uso del equipo en la actualidad se basan fundamentalmente en: el costo, la confiabilidad, condiciones del flujo del agua y facilidad de mantenimiento del mismo.

13) La necesidad de obtener información acerca de los valores del gasto del agua en los sistemas de introducción,

distribución y descarga, ha hecho necesaria la estación de medición para que haya un control de la misma que no sature o hga escaso el suministro.

## R E F E R E N C I A S

- 1) M. en I. Gilberto Sotelo Avila. Hidráulica General. Volumen I Fundamentos. Universidad Nacional Autónoma de México (1976).
- 2) M. en I. Gilberto Sotelo Avila. Hidráulica II. - Segunda parte. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional - Autónoma de México (1975)
- 3) Manual para Aforo de Corrientes, de la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. División - de Estudios Superiores. Patrocinado por la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Traducción y adaptación de la publicación - - "Water Measurement Manual" (1970)
- 4) Instructivo para Aforo de Corrientes de la Secretaría de Recursos Hidráulicos. (1964)
- 5) Diseño de Presas Pequeñas. Publicación Técnica de Recursos Hidráulicos. Traducción del libro "Design of Small - - Dams". C.E.C.S.A.

- 6) Prácticas de Laboratorio de Momentum y Calor, de la Universidad Nacional Autónoma de México. Laboratorio de Ingeniería Química. (1978)
- 7) Rolando Springall G. Hidrología. Primera parte. Universidad Nacional Autónoma de México. (1970)
- 8) F. H. Knapp. Ausfluss Überfall und Durchfluss im Wasserbau. Verlag G. Braun Karlsruhe. (1960)
- 9) Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Comité - Regional Latinoamericano de la Asociación Internacional de Investigaciones Hidráulicas. (1978)
- 10) Ven Te Chow. Open Channel Hydraulics. Mc Graw - Hill Company Inc. New York. (1964)
- 11) F. M. Henderson. Open Channel Flow. New York Mc Millan. (1967)
- 12) Los Grandes Ríos. Selecciones del Reader's Digest (1973)

# I N D I C E

	Pag.
PROLOGO	
I ANTECEDENTES	1
I.1 HISTORIA.	1
I.2 ASPECTOS GENERALES.	4
II TIPO DE MEDIDOR POR UTILIZAR.	6
II.1 ELEMENTOS PRIMARIOS DE MEDICION.	9
II.1.a. Placa de orificio o diafragma.	
II.1.b. Tobera.	
II.1.c. Venturímetro	
II.1.d. Aforador de Codo.	
II.1.e. Annubar.	
II.1.f. MEDICION EN LA PLANTA DE BOMBEO "XOTEPINGO" 20	
(Proyecto #1)	
a).- Antecedentes.	
b).- Objetivos y alcances.	
c).- Actividades realizadas.	
d).- Instrumentos de medición.	
e).- Memoria de cálculos.	
II.2. AFORADORES DE CORRIENTE	27

## II.2.1. SECCION DE CONTROL.

27

II.2.1.a. Vertedor.

II.2.1.b. Orificio ahogado.

II.2.1.c. Compuertas medidoras.

II.2.1.d. Medidor Parshall.

II.2.1.e. PROYECTO DE LAS ESTACIONES DE MEDICION 34

EN EL PORTAL DE SALIDA DEL EMISOR CEN-  
TRAL (Proyecto # 2)

a).- Antecedentes.

b).- Alcances y objetivos.

c).- Trabajos realizados.

d).- Memoria de cálculos.

II.2.1.f. ESTACION DE MEDICION EN EL RIO MAGDALENA 70

(Proyecto # 3)

a).- Antecedentes.

b).- Alcances y objetivos.

c).- Actividades realizadas.

d).- Análisis hidráulico.

e).- Instalación de la estación de medi-  
ción.

f).- Operación de la estación de medición.

g).- Memoria de cálculos.

## II.2.2. RELACION SECCION - VELOCIDAD.

87

II.2.2.a. ESTACION DE AFORO EN EL GRAN CANAL

91

(Proyecto # 4)

- a).- Antecedentes.
- b).- Objetivos y alcances.
- c).- Actividades realizadas.
- d).- Instalación de la estación de aforo.
- e).- Operación de la estación de aforo.
- f).- Memoria de cálculos.

II.2.3. RELACION SECCION - PENDIENTE 100

II.2.3.a. PROYECTO DE MEDICION SOBRE LAS LUMBRERAS 101  
 20 Y 21 PARA EL AFORO DEL INTERCEPTOR PO  
 NIENTE (Proyecto # 5).

- a).- Antecedentes.
- b).- Objetivos y alcances.
- c).- Actividades realizadas.
- d).- Análisis hidráulicos.
- e).- Conclusiones y recomendaciones.
- f).- Memoria de cálculos.

III ESTRUCTURAS AUXILIARES. 125

III.1. ELEMENTOS SECUNDARIOS DE MEDICION 125

- III.1.a. Medidores de tipo mecánico.
- III.1.b. Medidores de tipo eléctrico.
- III.1.c. Transmisión neumática.

III.2. OTROS APARATOS PRIMARIOS DE MEDICION. 133

	Pag.
III.3. MEDIDORES DE NIVEL.	137
III.4. LIMNIGRAFO.	142
III.5. MOLINETE.	144
IV. ESPECIFICACIONES Y RECOMENDACIONES.	147
IV.1. SELECCION DEL ELEMENTO PRIMARIO	149
CONCLUSIONES.	156
REFERENCIAS.	161