

MANUAL BASICO PARA INSTRUCCION DE HIDROMENSORES.



1991

DIRECCION GENERAL DE AGUAS
Centro de Información Recursos Hídricos
Área de Documentación

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS

ABOGADO SR. GUSTAVO MANRIQUEZ L.



JEFE DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA

ING. SR. JAIME MUÑOZ R.

DIRECCION GENERAL DE AGUAS

DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA

EL PRESENTE INFORME FUE ELABORADO POR EL SIGUIENTE PERSONAL
DE LA DIRECCION GENERAL DE AGUAS:

NORMAS Y PROCEDIMIENTOS HIDROMETRICOS	: SR. CESAR VIDELA D.
APUNTES SOBRE EL DISEÑO DE CURVAS DE DESCARGA	: SR. LUIS DIAZ P.
METODO AREA PENDIENTE	: SR. ANDRES MAIRA M.
HIDROMETEOROLOGIA	: SR. FERNANDO OLMOS J. SR. ERICH WEIDENSLAUFER R.
HIDROGEOLOGIA	: SR. AUGUSTO SCHULTZ G.
CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS	: SRA. ROSA SANDOVAL L.
PROYECTOS DE ESTACIONES FLUVIOMETRICAS	: SR. DARIO MOSCA R.
DIBUJANTE	: SR. NEFTALI UBILLA H.
DACTILOGRAFIA	: SR. CARLOS MEDINA J.

COORDINADOR GENERAL
ARTURO RICHMAGUI S.

En el ámbito de la planificación e investigación del recurso agua, se aprecia con ineludible necesidad la importancia de contar con información básica tanto hidrométrica como meteorológica, que permita orientar, en este campo, las actividades de los distintos sectores del desarrollo nacional.

Los estudios hidrológicos se apoyan hoy en día, en un conjunto de datos hidrométricos y meteorológicos que han de tomarse directamente en terreno, midiéndolos con la precisión adecuada a los fines perseguidos, y haciendo observaciones continuadas durante una serie de años, ya que las medidas esporádicas no pueden conducir a estudios hidrológicos de garantía. Resulta indispensable, en consecuencia, disponer de datos básicos, no solo de calidad aceptable, sino también de una extensión en el tiempo suficientemente amplia y continua, de ahí la importancia de la implementación, operación y conservación de las "Redes Hidrológicas".

En este contexto, la Dirección General de Aguas, tiene por función, entre otras, la mantención y operación del Servicio Hidrométrico Nacional, el cual entrega una información de inestimable valor. En mérito a lo antes expuesto, y en un marco pragmático de acción, es necesario dar a conocer el modo de funcionamiento y operación de las distintas estaciones de las redes, que conforman el Servicio Hidrométrico Nacional y los tipos de instrumentos que se manejan, con el fin de que la resultante de un trabajo de este tipo, sea comprensible a los técnicos que laboran en las distintas oficinas regionales de la Dirección General de Aguas.

Por ello, el presente **MANUAL BASICO DE INSTRUCCION PARA HIDROMENSORES**, pretende entregar una visión de los tipos de estaciones que maneja la Dirección General de Aguas, además del instrumental con que cuentan, la función que estos desempeñan, las normas de operación y los procedimientos de revisión y cálculo de la información generada en dichas Redes

JAIME MUÑOZ R.
ING. JEFE DEPTO. HIDROLOGIA

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA

NORMAS Y PROCEDIMIENTOS HIDROMETRICOS

1991

INDICE GENERAL

INTRODUCCION

- 1. DEFINICIONES GENERALES
 - 1.1. HIDROMETRIA
 - 1.2. ESTACION HIDROMETRICA O FLUVIOMETRICA
 - 1.3. AFORO
 - 1.4. ALTURA LIMNIMETRICA
 - 1.5. RED HIDROMETRICA
 - 1.5.1. ESTACIONES FLUVIOMETRICAS PRIMER ORDEN
 - 1.5.2. ESTACIONES FLUVIOMETRICAS SEGUNDO ORDEN
 - 1.5.3. ESTACIONES FLUVIOMETRICAS DE TERCER ORDEN
 - 1.5.4. ESTACIONES FLUVIOMETRICAS PARA FINES ESPECIALES
- 2. SELECCION DE ESTACIONES HIDROMETRICAS
 - 2.1. CARACTERISTICAS GENERALES
 - 2.1.1. SECCION LIMNIMETRICA
 - 2.1.2. SECCION DE AFORO CON MOLINETE
 - 2.1.3. CONTROL
- 3. ELEMENTOS Y CONTROLES DE LAS ESTACIONES HIDROMETRICAS
 - 3.1. PARA LA MEDIDA DE NIVELES DE AGUA
 - 3.1.1. INSTALACIONES LIMNIMETRICAS
 - 3.1.2. INSTALACIONES LIMNIGRAFICAS
 - 3.2. INSTALACIONES PARA AFOROS CON MOLINETE

CONTINUACION INDICE

- 3.2.1. CABLE
- 3.2.2. TORRES
- 3.2.2. MACHONES DE ANCLAJE
- 3.2.4. ESTRUCTURA PARA ABORDAR EL CARRO
- 3.2.5. CABLE MARCADOR
- 3.3. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO
- 3.4. NIVELACION DE LOS LIMNIMETROS
- 3.5. INSPECCION DE LA ESTACION
- 4. MEDICIONES HIDROMETRICAS
- 4.1. MEDICIONES DE NIVELES
- 4.1.1. LECTURAS LIMNIMETRICAS
- 4.1.2. LECTURAS LIMNIGRAFICAS
- 4.2. MEDICION DE CAUDALES, AFOROS
- 4.2.1. AFOROS CON MOLINETES
- 4.2.1.1. AFOROS CON BARRA
- 4.2.1.2. SUSPENSION POR CABLE
- 4.2.1.3. USO DE LOS MOLINETES
- 4.2.1.4. DETERMINACION DE LA SECCION TRANSVERSAL
- 4.2.1.5. NUMERO DE VERTICALES POR SECCION
- 4.2.1.6. NUMERO DE PUNTOS POR VERTICAL
- 4.2.1.6.1 AFORO COMPLETO POR PUNTOS
- 4.2.1.6.2 CINCO PUNTOS POR VERTICAL

CONTINUACION INDICE

- 4.2.1.6.3 TRES PUNTO POR VERTICAL
- 4.2.1.6.4 DOS PUNTOS POR VERTICAL
- 4.2.1.6.5 METODO "0.6 DE LA PROFUNDIDAD"
- 4.2.1.6.6 VELOCIDAD SUPERFICIAL
- 4.2.1.7. DURACION DE LA MEDIDA EN CADA PUNTO
- 4.2.1.8. AFORO CON ARRASTRE
- 4.2.2. AFOROS CON VERTEDEROS
- 4.2.3. AFORADORES DE ESCURRIMIENTO CRITICO
- 5. RECEPCION, OPERACION Y MANTENCION DE LA RED HIDROMETRICA
 - 5.1. RECEPCION DE LAS ESTACIONES
 - 5.2. OPERACION DE UNA ESTACION HIDROMETRICA
 - 5.3. MANTENCION DE UNA ESTACION HIDROMETRICA
- 6. BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

Entre las atribuciones y funciones de la D.G.A. una de las principales es investigar y medir los recursos hídricos y para ello debe mantener y operar el Servicio Hidrométrico Nacional. Las estaciones que componen la red precisan periódicos controles, mantención, reparación y reposiciones para su buen funcionamiento.

Cabe destacar que los eventos fluviométricos deben medirse directamente y en la ocasión que ocurren, y para ello las estaciones de control deben estar perfectamente acondicionadas para registrar las distintas variaciones de caudal.

La mantención, conservación y reposición es una operación que debe realizarse en forma permanente, por la necesidad de proteger las estructuras y asegurar el correcto funcionamiento del instrumental, con la finalidad de que la información que se genere sea confiable, homogénea y continua y pueda estar oportunamente disponible.

Para llevar a cabo los objetivos anteriormente señalados, se requiere contar con personal técnico de alta calidad y de una probada ética funcionaria, factores fundamentales en la operación y funcionamiento de la red hidrométrica nacional. Bajo estos conceptos, las materias que a continuación se entregan serán fundamentales en la formación y perfeccionamiento de estos funcionarios.

NORMAS Y PROCEDIMIENTOS HIDROMETRICOS

1. DEFINICIONES GENERALES

1.1 Hidrometría

Se entenderá como Hidrometría a la técnica de la medición del agua.

1.2 Estación Hidrométrica o Fluviométrica

Es el lugar donde se realizan sistemáticamente mediciones de caudal y/u observaciones del nivel del agua, lo que permite conocer el régimen de un río o el nivel de un lago o embalse.

Se denomina caudal al volumen de agua que pasa por una sección transversal de una corriente en la unidad de tiempo y se mide en metros cúbicos por segundo (m^3/s) o en litros por segundo (l/s).

El volumen de agua almacenada en un lago o embalse se mide en m^3 o millones de m^3 ($10^6 m^3$).

1.3 Aforo

Se denomina aforo a la medición de un caudal.

1.4 Altura Limnimétrica o Nivel de agua

Se denomina altura limnimétrica a la cota de la superficie del agua referida a un punto de referencia que puede tener una cota arbitraria o ser el nivel del mar.

Se mide en una regla denominada limnímetro, o en conjunto con un instrumento de registro continuo denominado limnógrafo.

1.5 Red Hidrométrica

Es un conjunto de estaciones hidrométricas que sirven para definir el régimen de un río, de una cuenca, de una región o del país.

Las redes hidrométricas deben planificarse al menos por cuencas, para lo cual se tendrán en cuenta los fines para los cuales se diseña, que pueden ser:

- Netamente hidrológicos, para determinar los recursos hídricos y régimen hidrológico de los ríos;
- Para efectuar la planificación de la cuenca y el diseño de los anteproyectos y proyectos que van a realizarse en ella;
- Para estudios específicos.

La red puede comprender estaciones hidrométricas de Primer, Segundo y Tercer Orden y para fines especiales, cuyas características generales son las que se indican a continuación:

1.5.1 Estaciones fluviométricas de Primer Orden o Básicas

Son las estaciones bases o permanentes que deben ser observadas continua e indefinidamente para proporcionar la base estadística de cualquier estudio hidrológico que se realice en la cuenca o zona y poder caracterizar así el régimen de escorrentía fundamental en la cuenca.

Sus características principales deben ser:

- Estar dotada de un limnógrafo y de un sistema que permita la ejecución de aforos durante las crecidas.
- Generalmente estar ubicadas en la desembocadura al mar de un río principal, en su propio curso o en sus afluentes mayores.
- Tener una estadística muy larga, aun cuando no cumpla alguna de las condiciones anteriores.
- Es deseable que en ella se efectúen medidas de arrastre en suspensión para el control de la erosión de la cuenca y estudios de sedimentación.

1.5.2 Estaciones fluviométricas de Segundo Orden

Son estaciones permanentes que deben ser observadas continua e indefinidamente, pero que no controlan grandes cuencas o bien sirven de relleno de la red.

Sus características principales deben ser:

- Pueden o no estar dotadas de limnógrafos pero deben poder

medir caudales altos.

- Generalmente controlan cuencas pequeñas o puntos intermedios de un río entre las estaciones de Primer Orden.
- Pueden o no poseer estadística larga.

1.5.3 Estaciones fluviométricas de Tercer Orden

Son aquellas que se establecen para cubrir puntos en la cuenca pero que para no encarecer la operación de la Red Hidrométrica, por no ser indispensable se mantiene su ubicación durante un limitado número de años, hasta que se logra establecer una buena correlación entre la información registrada en ellas y las estaciones fluviométricas de Primer Orden o básicas. Estas estaciones pueden trasladarse a otros puntos para cubrir con una Red más densa la cuenca, Región o País.

Sus característica son análogas a las estaciones fluviométricas de Segundo Orden.

1.5.4 Estaciones fluviométricas para fines especiales

Son aquellas que se establecen para objetivos particulares y específicos y que son suprimidas una vez que han cumplido su objetivo.

Sus características dependen del fin para el cual se han instalado, pudiendo ser muy completas como constar únicamente de un limnómetro.

Los fines que pueden cumplir son, entre otros:

- Cuando se está estudiando la optimización o ampliación de una Red Hidrométrica son muy útiles para comprobar si son necesarias para el estudio de la cuenca.
- Para conocer el río antes de efectuar la gran inversión que significa la instalación de una estación completa.
- Obtención de datos para el diseño y posterior operación de obras de ingeniería hidráulica, por ejemplo estudio de ejes hidráulicos en un tramo del río.
- Estudios de pérdidas y recuperaciones.

2. SELECCION DE ESTACIONES HIDROMETRICAS

2.1 Características Generales

En una estación fluviométrica corriente se deben considerar las siguientes partes:

- Sección limnimétrica y/o limnigráfica
- Sección de aforos
- Control

En general no existe una sección ideal en terreno que cumpla con todas las condiciones tanto hidráulicas como de forma para instalar una estación fluviométrica y a veces deben desecharse algunas consideraciones importantes en beneficio de otras.

2.1.1 Sección limnimétrica

El nivel del agua es una medida puntual que se realiza en el limnómetro y representa solamente la altura de la superficie del agua en la sección del río en que es realizada. Esto se debe tener muy presente, debiéndose referir la medida del caudal siempre a un mismo limnómetro. Por esta razón el limnómetro debe estar referido a un punto fijo llamado punto de referencia topográfico que fija su cota 0.0 m.

El punto de referencia topográfico debe estar ubicado fuera del cauce del río y a él se refieren todas las cotas de la estación hidrométrica.

Como punto de referencia puede usarse una roca grande que no pueda ser movida por el agua, en la cual se fije un clavo metálico destinado a asegurar la constancia de la medición. En caso de no disponerse de una roca se debe usar un monolito artificial, localizado arriba de las aguas máximas y a resguardo de posibles alteraciones.

En las estaciones de primer orden se recomienda usar al menos dos puntos de referencia.

Los P.R. deben tener cota referida al nivel del mar cuando esto es factible. En caso contrario deben nivelarse mediante el uso de altímetros que darán una cota aproximada. En este último caso debe tenerse especial cuidado en las correcciones de altura que deban hacerse a la lectura del altímetro.

Se recomienda tener en la caseta del limnógrafo de la estación una descripción del punto de referencia de tal manera que cualquier hidromensor pueda ubicarlo fácilmente.

Las condiciones que debe cumplir una sección limnimétrica son las siguientes:

a) **Estabilidad**

La sección debe ser estable para que la relación entre el caudal Q y altura de agua h , $Q = f(h)$, sea válida por un largo período de tiempo. Para esto, el sector del río donde se colocan las reglas limnimétricas no debe sufrir alteraciones, por derrumbe de una ribera, embanques o crecimiento de vegetaciones. Por razones hidráulicas estas condiciones deben extenderse aguas arriba unas tres veces el ancho de la sección y aguas abajo de la sección

limnimétrica hasta después del control de la estación.

En general estas condiciones de estabilidad se consiguen en lecho rocoso y aguas arriba de un lugar donde se tenga escurrimiento crítico estable.

b) Sensibilidad

La sensibilidad de una sección es la propiedad que tiene para que a un pequeño incremento de caudal corresponda un fuerte incremento de nivel.

Se recomienda que una variación de nivel de 0.5 cm. no debe representar más de un 2% del caudal total.

c) Ausencia de oleaje

Esta condición es necesaria para que se pueda leer bien el limnómetro y debe garantizarse aún en tiempo de crecidas. En caso necesario debe recurrirse a pozos tranquilizantes contruídos a la orilla del río y comunicados a él por tubos de $\varnothing$ 2" a 4". El limnómetro se coloca en el interior del pozo.

d) Niveles no afectados por obras hidráulicas

Los limnómetros no deben colocarse cerca de tomas o descargas de obras hidráulicas, a no ser que se requiera un estudio especial en estas condiciones.

e) Alejado de confluencias

Los limnímetros no deben instalarse en sectores que puedan quedar influenciados por reflujos o remansos.

2.1.2 Sección de aforo con molinete

El método usual de aforo es con molinete, razón por la cual aquí se describirán las secciones de aforo con molinete.

Las condiciones ideales que debe reunir una sección de aforo con molinete son las siguientes:

- a) Debe estar situada sobre un tramo recto del río que cuente con una sección uniforme y una pendiente constante a lo largo del curso. La sección debe ser estable, o sea que no se produzcan embanques, socavaciones ni se divida en brazos.

Se recomienda que el tramo recto tenga un largo de por lo menos tres veces el ancho de la sección hacia aguas arriba y hacia aguas abajo.

- b) La dirección de la corriente en la sección debe ser paralela a la del río, que a su vez debe ser coincidente con la dirección del valle.
- c) La sección, en lo posible, debe ser fácilmente accesible.

Lo anterior, si bien no es una condición hidráulica, permite una atención más sencilla, lo que redunda en una mejor calidad de los datos. De ahí que en muchos casos convenga elegir secciones con condiciones hidráulicas no ideales, pero que tengan accesos fáciles. Además, es necesario que esté atendida por un buen observador.

- d) La sección de aforos debe tener una distribución pareja de velocidades, evitándose aquellas en que existen sectores de altas velocidades, aguas muertas, contracorrientes o remolinos. El lecho no debe tener rocas que produzcan escurrimiento turbulento que golpeen el molinete. Tampoco conviene utilizar secciones fangosas o con mucha vegetación. Deben evitarse secciones en o próximas a curvas del río. El talud de las márgenes de la sección debe ser inclinado hacia el río.
- e) En caso que la excesiva vegetación no pueda evitarse deberá procederse a limpiar periódicamente la sección. Además deben eliminarse ciertos obstáculos como ser, matorrales en las orillas y piedras grandes situadas en el lecho de sectores de poca profundidad.
- f) En los casos en que la sección no cumpla las condiciones indicadas puede recurrirse al mejoramiento de ellas.
- g) En general, los puentes no constituyen buenas secciones de aforo. Sólo pueden usarse los puentes en que los estribos y los pilares no produzcan una alteración sensible del escurrimiento.
- h) Para aforos durante crecidas que sobrepasan las orillas hay que evitar las secciones transversales donde el agua de los terrenos circundantes toma otra dirección que el agua dentro del lecho del río.

- i) Aguas arriba deben eliminarse mediante cortes todos aquellos arbustos y matorrales que ejercen alguna influencia en la repartición del escurrimiento en la sección de aforo. Pueden mantenerse algunos árboles aislados. Es de desear una suave pendiente hacia el río.
- j) Puentes situados oblicuamente respecto al río no son apropiados. Sólo excepcionalmente podrán ser usados cuando los machones y estribos están orientados según la dirección de la corriente. Debe determinarse con precisión el ángulo que forma la sección de aforo con la dirección del escurrimiento. Luego con este antecedente se procede gráficamente a hacer una reducción de las distancias entre las verticales a la normal al escurrimiento del río, al calcular el aforo.
- k) Conviene que el sitio escogido para la estación de aforos quede siempre aguas abajo de la entrada de cualquier afluente del río, pues si se coloca a corta distancia aguas arriba de la desembocadura, seguramente al haber crecidas se producirá un remanso, que va a dar lecturas falsas en la medición del nivel de aguas.
- l) Las secciones de aforo en ríos afluentes de uno mayor, deben situarse a suficiente distancia aguas arriba de su desembocadura, de tal forma que el remanso producido por las crecidas del río mayor o recipiente no afecten los registros de niveles y ocasionalmente puedan ocurrir velocidades negativas o de retroceso en el río afluente.
- m) El aforo debe efectuarse en lo posible siempre en la misma sección. Sólo en casos excepcionales, por ejemplo, durante una crecida puede ejecutarse la medición en otro lugar. Es necesario, sin embargo, que entre esta sección y la

sección de aforo no haya aportes apreciables de caudal. En caso que sea inevitable la presencia de algún pequeño aporte o salida entre la sección limnimétrica y de aforo, debe indicarse la magnitud de esta corriente.

- n) La sección de aforo debe ser establecida y marcada perpendicularmente respecto a la dirección de la corriente y a la orientación de las orillas. De esta manera podrá ser ubicada en cualquier momento y ocupada en la misma forma. Debe tener un punto de referencia, que servirá tanto de referencia vertical como horizontal.
- ñ) En lo posible debe ser coincidente cercana a la sección limnimétrica. En caso de encontrarse el limnómetro de referencia muy distante se recomienda recurrir a un limnómetro auxiliar.
- o) Si las profundidades de agua, en la sección de aforo, no son suficientes puede prepararse, en cercanía y en forma provisional, una sección auxiliar con un estrechamiento tendiente a lograr, aún en gastos de estiaje, profundidades adecuadas para poder medir velocidades en 2, o 3 puntos de cada vertical. Esta obra no debe influenciar la sección limnimétrica.

2.1.3 Control

Las alturas de una corriente con escurrimiento de río dependen de las condiciones aguas abajo y quedan influenciadas a partir de una sección o control donde se produce el escurrimiento crítico. Este escurrimiento crítico puede ser producido por un angostamiento en el cauce del río, o un reborde natural o artificial que va a lo largo de una sección

transversal del río. Esta última condición se define como control de la estación hidrométrica y de su estabilidad y permanencia depende la estabilidad de la relación Caudal función de altura de agua.

Cuando no se puede encontrar un sector estable, se pueden proyectar obras artificiales, ya sea revistiendo totalmente la sección, o haciendo un control artificial aguas abajo de la estación para garantizar la estabilidad en la variación de niveles y mantener así una buena Curva de Descarga para la estación.

Una forma de control artificial estable la constituyen los vertederos.

3. ELEMENTOS Y CONTROLES DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS

Como se expresó en las estaciones hidrométricas se efectúan medidas de niveles de agua y de caudales para lo cual es necesario realizar las instalaciones correspondientes y que se detallan a continuación:

3.1 Para la medida de niveles de agua

El nivel del agua se realiza en forma puntual por medio de la lectura directa de los limnímetros o en forma continua con instrumentos registradores o limnógrafos.

3.1.1 Instalaciones limnimétricas

El limnómetro es una regla graduada que sirve para la medición del nivel de agua ya sea en un río, canal, lago o embalse.

Los limnímetros deben estar referenciados al P.R. con el objeto de verificar periódicamente su cota.

3.1.1.1 Limnímetros verticales

En este caso los limnímetros se colocan en forma vertical en uno o varios tramos. En terreno se recomienda su uso exclusivo.

Las planchas del limnómetro pueden ser de varios tipos, siendo las más empleadas de:

1. Hierro fundido
2. Hierro enlozado o esmaltado
3. Madera o pilotes pintados o pirograbados

El uso de pilotes de madera o pintados no se recomienda debido a que sus marcas pueden borrarse y a que pueden alterarse con el tiempo.

El uso de los limnímetros esmaltados está confinado a los casos en que no exista acarreo de piedras o palos que los pueda dañar.

La colocación de estos limnímetros debe considerar:

- a) Seguridad de que no se producirán cambios en su nivel, para ello se recomienda su colocación adosados a rocas, machones de puentes, u otras estructuras masivas. Una práctica recomendable, en los casos en que no sea posible lo anterior, es apoyar los limnímetros en rieles, o perfiles que han sido anclados en grandes masas de concreto.

Se obtienen grandes economías si se aprovecha la estructura del limnógrafo para adosarle el limnómetro. En el caso de utilizarse pozos aquietantes puede colocarse el limnómetro en su interior; esta solución tiene el inconveniente de que las obstrucciones de la cañería de comunicación afectan el nivel registrado, por lo cual siempre será necesario colocar un limnómetro exterior.

- b) Colocación del limnómetro de modo que no altere el escurrimiento hidráulico. La colocación de la plancha debe

ser en lo posible paralela a la corriente, se pueden aceptar desviaciones hasta 45° orientadas aguas abajo, o 10° orientadas aguas arriba.

- c) El limnómetro debe poder leerse fácilmente. Debe proveerse de facilidades de acceso para que la lectura del limnómetro se haga con comodidad y seguridad.

3.1.2 Instalaciones Limnigráficas

El limnógrafo, o registrador de nivel, debe usarse exclusivamente en combinación con un limnómetro, el que servirá como calibración a sus lecturas.

En aquellas estaciones de difícil acceso y que no pueden ser visitadas frecuentemente por el hidromensor se recomienda tener al mismo tiempo un control permanente del limnómetro para suplir las fallas del limnógrafo.

3.1.2.1 Tipos de limnígrafos

Existe una gran variedad de limnigrafos y de disposiciones para instalarlos, de ahí que estas normas se limiten exclusivamente a los instrumentos y disposiciones de mayor uso en Chile y que son:

- | | | |
|----|---------------------------|-------------------|
| a) | Limnógrafos de flotador | Stevens tipo A-35 |
| | | Stevens tipo A-71 |
| b) | Limnógrafos Manométricos. | |

Dos más usados en Chile son los indicados en el punto a).

3.1.2.2 Instalación de limnígrafos de flotador

Los limnígrafos de flotador son los que utilizan un flotador para seguir las variaciones de nivel del agua del río.

Hay dos maneras básicas de instalar los limnígrafos de flotador.

La primera en pozo con caseta de concreto y albañilería.

La segunda es dentro de una caseta metálica standard.

El sistema más generalizado en Chile es este último y el que se describirá con más detalle.

La caseta que resguarda el aparato se monta sobre una plancha que contiene un recorte distinto según se trate del limnígrafo. Este recorte debe confeccionarse con la plantilla que se proporciona junto con las instrucciones para la operación de los limnígrafos y que dan los fabricantes.

En ríos que transportan mucha carga de sedimentos el tubo base es distinto ya que contiene conexiones para la entrada del agua y para la instalación de lavado respectiva.

Todas las uniones entre tubos deben ser herméticas, para lo cual se provee las empaquetaduras necesarias.

Existen tres posibilidades básicas para la colocación del conjunto caseta tubo:

- a) Tubo colocado en el río mismo. Si se trata de ríos tranquilos puede colocarse la instalación en cualquier punto del río. En ríos que acarrean troncos y otras materias flotantes el tubo debe colocarse en una ensenada protegida. En ambos casos la unión entre el tubo y la costa debe hacerse con un muelle de madera o metálico. La Figura 1 ilustra un ejemplo de este tipo de instalaciones. La parte más difícil de este tipo de instalaciones la constituye el anclaje del tubo. Lo normal es apoyarlo firmemente en el fondo y anclarlo en el puente que a su vez se apoya en machones que tienen fundaciones adecuadas, efectuadas con niveles bajos del río.
- b) Tubo colocado en un pozo. En este caso el tubo es colocado en el interior de un pozo. El pozo puede estar o no abierto hacia el río, tal como se indica en la Figura 2 incluso puede construirse el pozo en el río tal como se indica en la Figura 2.1 La experiencia indica que mejores resultados se obtienen con pozos abiertos. Los pozos pueden construirse de muchos tipos de materiales, obteniéndose los mejores resultados con los pozos cuadrados de concreto armado. En terrenos rocosos el pozo no requiere revestimiento pero sí una excavación muy costosa. En este tipo de estructuras se ancla fácilmente, y el limnómetro es fácilmente adosado a las paredes del pozo. La lectura es a veces difícil, de ahí que sea necesario colocar una escala que permita bajar a hacerla.
- c) Tubo enterrado. El tubo se entierra en una excavación provisional y luego se rodea de tierra. Sólo se recomienda este procedimiento en ríos pequeños de modo que la extracción del tubo sea fácil en caso de dificultades. conviene revestir el tubo en concreto para evitar la corrosión.

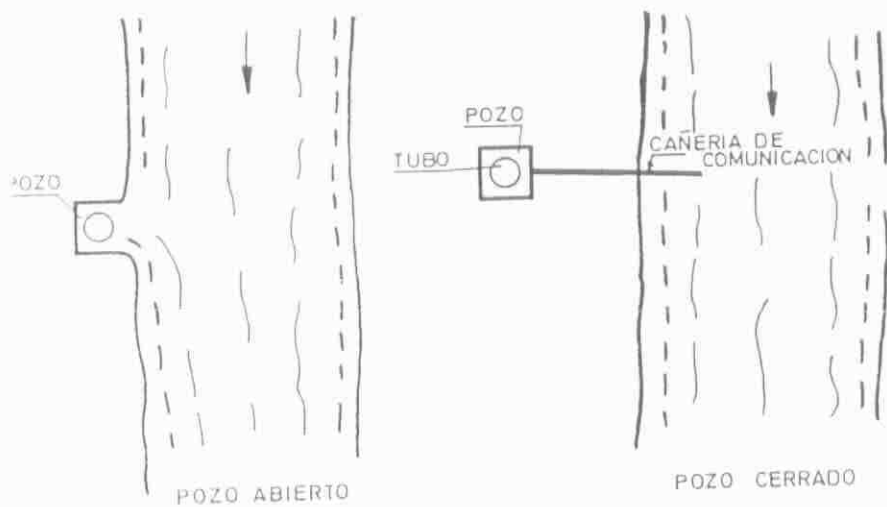


FIGURA 2
TUBO COLOCADO EN EL INTERIOR DE UN POZO

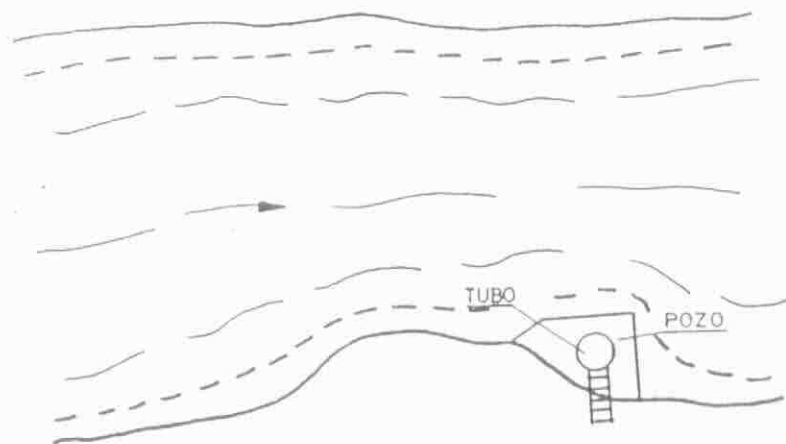


FIGURA 2.1
POZO COLOCADO EN INTERIOR DE UN RIO

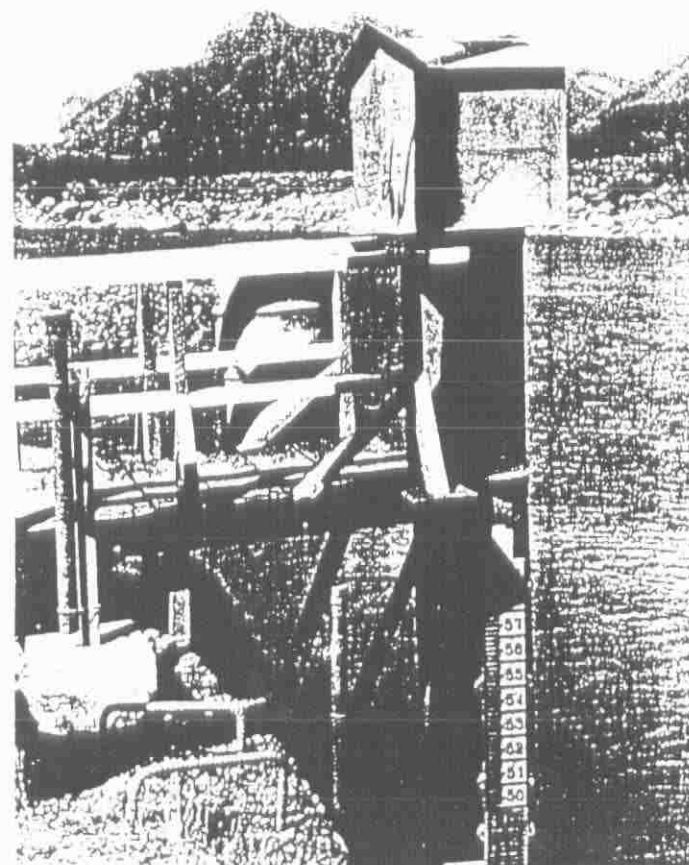


FIGURA 1
INTALACION CON MUELLE DE ACERO

3.2. Instalaciones para aforos con molinete

Para efectuar los aforos con molinete se pueden usar los siguientes métodos:

1. Vadeo
2. Puente
3. Cable y Carro
4. Balsa o Bote

Para el aforo por vadeo, sólo se requiere una señalización del lugar en que éste se efectúa, no requiriéndose prácticamente instalaciones de aforo. No se recomienda su uso, excepto en cursos menores, o en la temporada de aguas bajas cuando sea inoperable aforar desde el carro.

A fin de facilitar el análisis hidráulico de la información se recomienda usar siempre la misma sección de aforo.

Para aforar desde puente puede recurrirse a puentes existentes o puentes especiales para aforar. En general la segunda solución es más cara que el cable, excepto en el caso de estructuras menores. Al utilizar puentes existentes, debe verificarse que cumplan con las condiciones. Generalmente se requiere dotar al puente de marcas que faciliten la ubicación de las verticales aparte de las instalaciones que faciliten la operación.

Es muy importante determinar el ángulo de desvío del puente con respecto a la dirección de la corriente para corregir los aforos efectuados.

El método más difundido es el de cable y carro. Para ello

se requiere una estructura compuesta de:

- a) Cable vía o andarivel dotado con marcas de sondeos
- b) Torres
- c) Machones de anclaje
- d) Estructura para abordar el carro
- e) Carro
- f) Caseta para guardar el equipo

3.2.1. Cable

El cable es la parte más importante de las instalaciones fijas del aforo y debe revisarse periódicamente, en cada visita que efectúe el hidromensor a la estación.

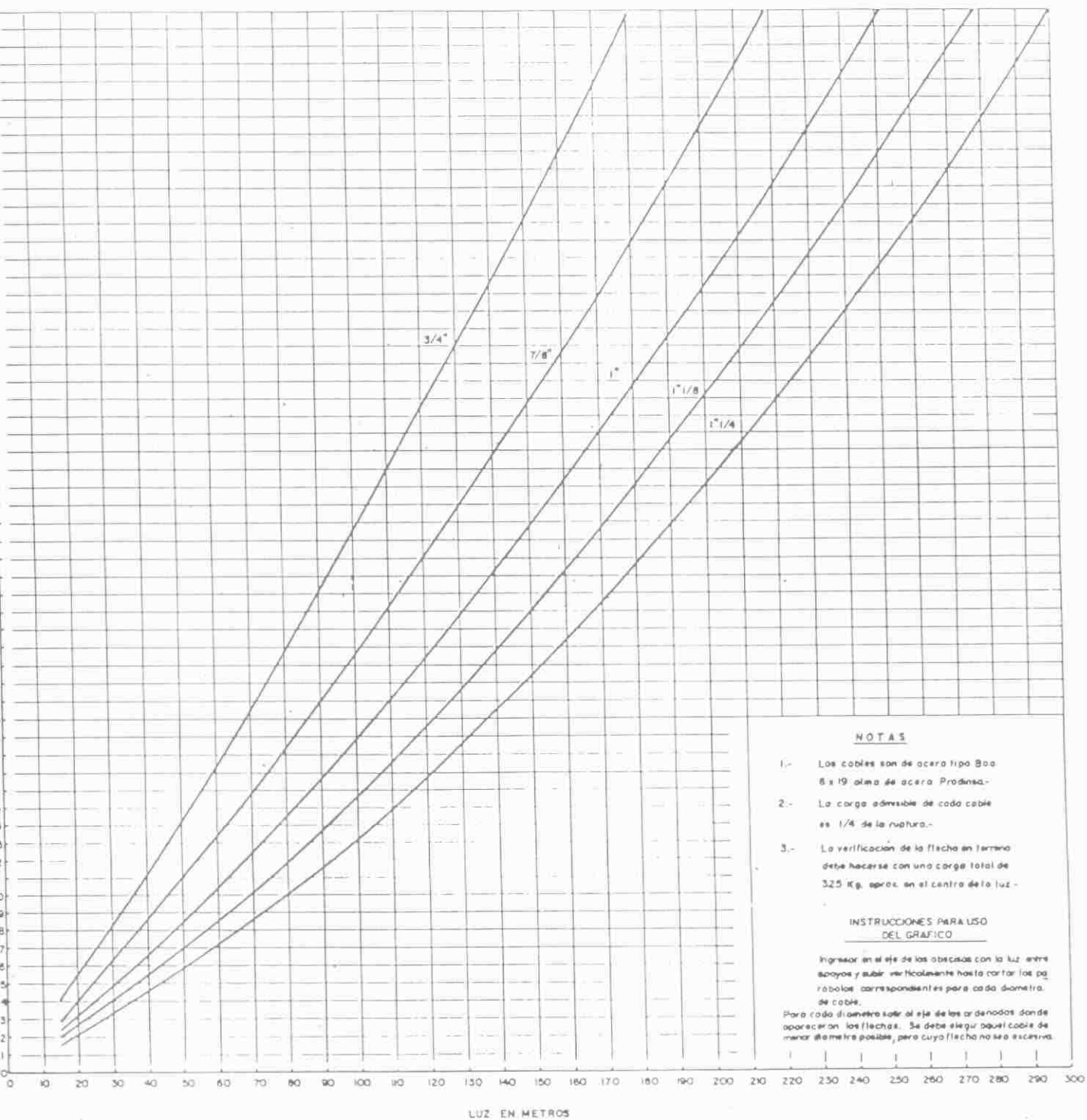
El cable debe anclarse en sus extremos, pasando o no por torres. Se indican las siguientes disposiciones:

- a) Cable con torres en ambas orillas
- b) Cable con torre en una orilla y macizo de anclaje en la otra.
- c) Cable sin torres. con machón de anclaje.

La operación se inicia fijando el cable de una orilla con pernos Crosby (opresores).

Luego se tensa de la otra orilla con un tacle. Una vez obtenida la tensión adecuada se colocan los pernos Crosby en el otro extremo.

DIAGRAMA DE FLECHAS MINIMAS PARA CABLES



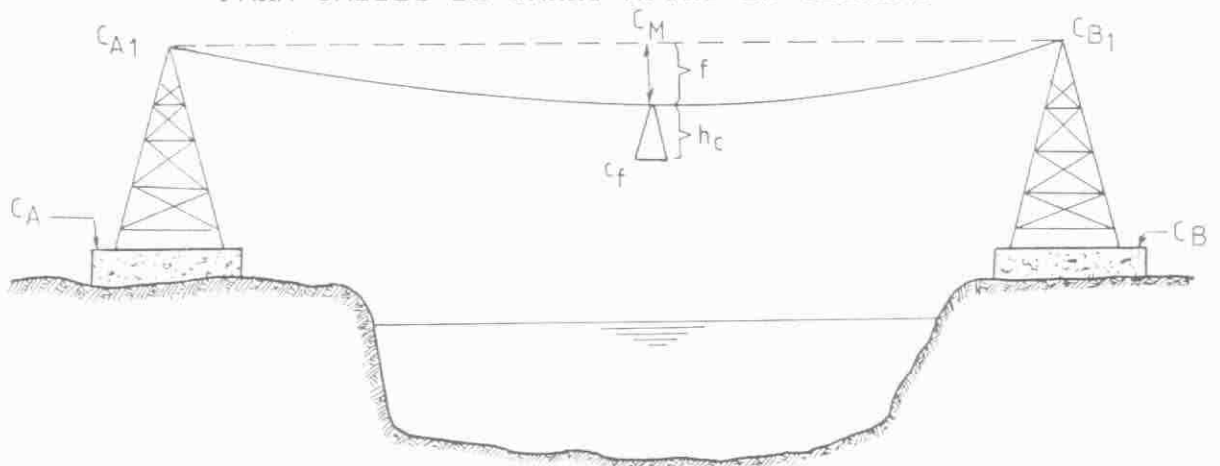
NOTAS

- 1.- Los cables son de acero tipo Baa 8 x 19 alma de acero Prodnasa.
- 2.- La carga admisible de cada cable es 1/4 de la ruptura.
- 3.- La verificación de la flecha en terreno debe hacerse con una carga total de 325 Kg. aprox. en el centro de la luz.

INSTRUCCIONES PARA USO DEL GRAFICO

Ingresar en el eje de las abscisas con la luz entre apoyos y subir verticalmente hasta cortar las parábolas correspondientes para cada diámetro de cable.
 Para cada diámetro salir al eje de las ordenadas donde aparezcan las flechas. Se debe elegir aquel cable de menor diámetro posible, pero cuya flecha no sea excesiva.

VERIFICACION Y CORRECCION DE LA FLECHA
PARA CABLES DE CARRO AFORO EN TERRENO



1. Ubicación con el instrumento en el punto (1) que nos dé visibilidad hacia ambos lados A y B de la sección de aforo (base de las torres).
2. Lectura de cotas en puntos A y B (base de las torres).
3. Medición con huincha de la altura de torres (clave superior de las poleas) en A y B se obtiene la cota en cúspide de ellas C_{A1} y C_{B1} .
4. Con las cotas de las cúspides (clave superior de poleas) de las torres C_{A1} y C_{B1} (si no hay torres en los argollones de anclaje), obtenemos la cota en el punto de la horizontal, de la luz C_M de la expresión

$$C_M = \frac{C_{A1} + C_{B1}}{2}$$

Esta cota C_M nos servirá para verificar la horizontalidad de las cúspides A_1 y B_1 para lo cual se deberá cumplir $C_M = C_{A1} = C_{B1}$.

5. Colocamos la mira en la base del carro de aforo, tenemos la cota C_f , la cual estará relacionada con la flecha que tiene el cable para la siguiente expresión:
$$C_f = C_M - (f + hc) \text{ (mts)}$$
en la cual hc = altura del carro de aforo = 1,60 mts.
 f = flecha del cable.
6. Con las características de la sección (diámetro del cable y luz) entramos al gráfico de flechas mínimas y obtenemos $f_{\min.}$ en metros.
7. Conocido $f_{\min.}$; reemplazamos en la expresión dada en el punto (5) y obtenemos la lectura de cota correspondiente al valor de la flecha mínima.
$$C_{f_{\min.}} = C_M - (f_{\min.} + hc) \text{ (mts)}.$$
Con la mira en la base del carro de aforo procedemos a variar la tensión del cable hasta poder leer en la mira un valor menor o igual dado por la expresión $C_{f_{\min.}}$.
8. Se recomienda previo a efectuar la variación de tensado, verificar en el tensor hacia qué lado de giro tensa y hacia cuál afloja el cable, con el objeto de no someter el cable a un valor de tensión superior al valor recomendado por el gráfico.
9. Obtenido el tensado adecuado, se procederá a marcar con pintura en los tensores esa posición a objeto de fijar la flecha mínima.
10. La experiencia anterior deberá realizarse con 2 personas, 1 escandallo de 50 kgs. y 1 mira sobre el carro de aforo.

VERIFICACION Y CORRECCION DE LAS FLECHAS PARA CABLES CON CARRO
DE AFORO

- 1.- Fecha _____
- 2.- Región _____
- 3.- Nombre Estación _____
- 4.- Luz entre apoyos _____
- 5.- Diámetro del cable _____
- 6.- Valor de la flecha actual en uso _____
- 7.- Valor de la flecha corregida _____
- 8.- Nombre del operador _____
- 9.- Cotas topográficas
 - CA_1 =
 - CB_1 =
 - CA =
 - CB =
 - CM =
 - Cf =
- 10.- hc = Altura carro de aforo (distancia entre el cable y el piso del carro)

3.2.2 Torres

Las torres mas usadas por la Dirección General de Aguas son las de tipo metálica de acuerdo con los planos tipos existentes.

Las torres desarmadas son proporcionadas por el Fabricante de estructuras metálicas y en el terreno sólo deberán prepararse los anclajes y el cable de montaje.

3.2.3 Machones de anclaje

Tienen por objeto recibir el esfuerzo del cable en ambos extremos. Pueden usarse los siguientes tipos:

a) Anclaje gravitacional

En este tipo de anclaje sólo se considera que el peso del macizo resiste la tensión del cable.

b) Viga de anclaje

Sólo puede usarse en terreno de cierta calidad ya que en su cálculo se considera el empuje pasivo y el peso del terreno sobre el anclaje, por estas razones son mucho más livianos que los anclajes anteriores y requieren mucho menos concreto.

c) Anclaje en roca

En los casos de orillas rocosas puede reemplazarse el machón por un anclaje directo en la roca para lo cual se anclan los pernos que recubrirán los esfuerzos del cable en la roca. El tensado del cable no debe hacerse hasta

que el concreto haya fraguado lo suficiente, al menos durante 28 días, para adquirir la resistencia necesaria. De ahí que se recomienda iniciar las faenas de una estación de aforos, con los anclajes.

Actualmente la DGA, utiliza fundamentalmente Machones de Anclaje gravitacionales de acuerdo a planos tipo del servicio.

3.2.4 Estructura para abordar el carro

En las torres está incorporada a su estructura.

El carro deberá dotarse de los siguientes elementos adicionales:

- a) Techo
- b) Palanca de accionamiento

Debe procurarse que los carros estén dotados de techo. En general la palanca de accionamiento puede ser desmontable.

3.2.5 Cable marcador

Las marcas que indican las verticales se pintan o marcan en el cable principal a partir de un cero en la orilla izquierda alejado del nivel máximo del agua que debe permanecer fijo, a objeto de permitir comparación en los perfiles de distintas mediciones.

3.3 Levantamiento topográfico

Elegido el lugar donde va a instalarse la estación, es conveniente hacer un levantamiento topográfico del lugar para realizar en la Oficina Central el proyecto completo de las instalaciones que constituirán la sección limnimétrica y de aforo.

Es conveniente que el proyecto sea ejecutado por un profesional con experiencia en esta clase de obras y sus especificaciones deben estar de acuerdo a la zona en que se instalará la estación.

Además, para la extrapolación de la curva de descarga es necesario conocer como es la sección transversal de las secciones limnimétricas y aforo para lo cual debe realizarse un levantamiento topográfico de ellas. Además puede servir para determinar modificaciones.

En el caso que se desee determinar caudales de crecida no aforados, es necesario utilizar métodos hidráulicos para lo cual es necesario tener, al menos, 10 perfiles transversales de esa zona del río separados entre sí alrededor de 60 metros, o sea 300 metros hacia aguas arriba y aguas abajo de la estación.

3.4 Nivelación de los limnímetros

Los limnímetros deben ser nivelados respecto al P.R. al menos cada dos años y siempre después que se han ejecutado obras en la estación.

Es conveniente nivelarlos después de las crecidas extraordinarias, especialmente si han causado destrozos.

3.5 Inspección de la estación

Toda estación deberá ser sometida a dos tipos de inspección:

- a) Por el hidromensor que está a cargo de su operación, cada vez que pase por el lugar o realice un aforo.
- b) Por el hidromensor Jefe de Zona o inspector de la Oficina Central, los que deberán inspeccionar cada estación al menos una vez al año o en caso de que se produzcan problemas en ella periódicamente.

La inspección deberá quedar registrada para mejor conocimiento de la forma como está trabajando la estación. Para ello el hidromensor y/o el inspector llevará un block de inspecciones con hojas de inspección en duplicado, debiendo enviar el original a la Oficina Central para conocimiento y archivo en la carpeta "Hoja de Vida de la Estación" o de "Inspección".

El formulario de inspección deberá ser llenado a medida que se van ejecutando las diferentes inspecciones enumeradas en el formulario, pero nunca posteriormente para evitar olvidos.

En el caso de que se produzcan fenómenos de importancia en la estación se recomienda agregar un informe especial que describa con el mayor detalle posible el evento de que se trate.

4. MEDICIONES HIDROMETRICAS

4.1 Medición de niveles

La medición de niveles de un río se efectúa ya sea con un limnómetro o con un limnógrafo.

4.1.1 Lecturas limnimétricas

Las lecturas limnimétricas son hechas por observadores en reglas llamadas limnómetros. El limnómetro es una regla graduada de centímetro en centímetro y numeradas generalmente de decímetro en decímetro.

El limnómetro, aunque es el más sencillo, es el instrumento más importante para la medida de niveles ya que a él están referidos los aforos, las lecturas y la colocación de los limnógrafos.

La lectura del limnómetro tiene una exactitud variable. En buenas instalaciones y con niveles normales es posible hacer una lectura al medio centímetro y en algunos casos muy especiales es posible estimar el milímetro. Sin embargo, con cierta frecuencia se observan oleajes fuertes, y por lo tanto en malas secciones y en condiciones difíciles es posible que los errores sean incluso del orden de los 5 cm. En estos casos la estadística calculada con lecturas limnimétricas puede considerarse únicamente aproximada.

Cuando en una sección existe únicamente limnómetro se exigen dos observaciones diarias como mínimo, efectuadas en lo posible cada 12 horas. Estas observaciones son hechas por un

observador quien las anota en una libreta y una vez al mes las traspasa al formulario que envía a la oficina de la DGA. , por intermedio del hidromensor de la zona.

Quando en la sección existe también un limnígrafo la exigencia se rebaja a un mínimo de una lectura diaria. En algunos casos especiales (accesos difíciles) las lecturas pueden ser aún más espaciadas. En el caso de crecidas en el río es conveniente que se tomen lecturas adicionales cada 2 horas o a criterio del observador. En todos estos casos las lecturas limnimétricas se ocupan únicamente para controlar la inscripción limnigráfica, siendo ésta, la que se utiliza para la determinación de los caudales medios diarios.

4.1.2 Lecturas limnigráficas

El limnígrafo es un aparato inscriptor provisto de un mecanismo de relojería y de dispositivos que permiten dejar registradas las alturas limnimétricas en forma continua y a lo largo de un espacio de tiempo prolongado, incluso hasta meses o un año según como se haya calibrado el instrumento.

El limnígrafo produce una inscripción en un papel que debe retirarse a plazos fijos en los limnígrafos de tambor, y periódicamente (pero no en fechas estrictamente fijas) en los limnígrafos de banda continua.

Al colocarse el rollo deberá calarse la aguja inscriptora en coincidencia con la lectura limnimétrica haciéndose la siguiente anotación:

Cuenca:
Nombre estación:
Fecha:
Hora:
Lectura del gráfico:
Lectura limnimétrica:
Escala:
Operador:
Observaciones:

Se recomienda usar un sello de goma para estampar la inscripción anterior. Este sello formará parte de los útiles del aforador.

Igualmente la hora del gráfico debe coincidir con la hora real al colocarse el rollo. Para ello debe procederse a hacer los ajustes necesarios recomendados por el fabricante y que dependen del tipo de instrumento.

Cada vez que se inspeccione la estación y no se cambie el rollo deberá estamparse nuevamente la información indicada. Si hay diferencia ya sea en el nivel o en la hora, y se hace la corrección debe dejarse constancia en el rollo. Cabe recomendar que si la diferencia en el tiempo es mayor de 2 horas y en nivel mayor de 2 cm. se procede calibrar nuevamente. Esto facilitará el proceso de la traducción de la estadística.

Al retirarse un rollo se deberá volver a anotar la indicación completa. En caso de diferencias apreciables, es necesario llenar un informe al respecto junto al formulario de inspección de estaciones.

El envío de los gráficos a la oficina debe hacerse a la brevedad posible por la vía convenida previamente con la

oficina procesadora.

4.2 Medición de caudales, aforos

Se denomina aforo a la medición del volumen de agua que pasa por una sección transversal de un río en la unidad de tiempo, tiene por objeto correlacionar el nivel o altura de agua (h) con el caudal o gasto (Q). Los resultados se llevan a una curva llamada curva de descarga o de calibración.

El aforo debe realizarse detalladamente de modo que permita determinar las alteraciones que se produzcan en las condiciones del escurrimiento, sección transversal, pendiente del eje hidráulico, rugosidad, etc.

Los aforos deben repartirse uniformemente a lo largo del intervalo comprendido entre el gasto mínimo de estiaje y el correspondiente a las crecidas máximas. Especialmente debe lograrse la medida de las crecidas poco frecuentes.

Es conveniente efectuar también observaciones de la pendiente del eje hidráulico, en algunas secciones. Con ello se podrá determinar la variación de la pendiente del eje hidráulico correspondiente a diversos niveles de agua y verificar al mismo tiempo valores anexos que acompañan a los aforos.

Se distinguen los siguientes procedimientos para medir el gasto:

- 1º Mediciones con molinetes, de uso general
- 2º Otros métodos de medición:

- a) Aforos volumétricos
 - b) Aforos con vertederos
 - c) Aforos con canales Venturi
 - d) Aforos por dilución (químicos, isótopos radioactivos, etc.).
- 3° Métodos aproximados de uso ocasional:
- a) Aforos con flotadores
 - b) Medición indirecta del caudal
- 4° Determinación del gasto en sectores fluviales peraltados (remansos).

De todos los métodos indicados más arriba para fines hidrológicos e hidráulicos, se recomienda el aforo con molinete, que es el método de más uso en Chile. En casos particulares puede ser recomendable alguno de los otros indicados.

Durante los aforos debe efectuarse el control limnimétrico, independientemente del que se realiza normalmente en la siguiente forma:

- a) En los limnigrafos debe verificarse antes y después del aforo si la pluma marca correctamente el nivel de agua y el tiempo.
- b) Los limnímetros deben ser leídos antes y después del aforo. Tratándose de caudales pequeños, de fuertes fluctuaciones o de canales de alimentación o de evacuación de alguna central hidroeléctrica, debe leerse el limnómetro también durante el aforo en intervalos no mayores de 15 minutos. La lectura debe realizarse en lo posible con precisión de 1/2 cm.

En el caso de que las secciones limnimétricas y de aforo no coincidan deben efectuarse lecturas limnimétricas antes y después de cada aforo según el caso. La duración de estos controles dependerá de la velocidad con que se desplaza el escurrimiento entre el limnímetro y la sección de aforo o viceversa. Las fluctuaciones de nivel en la sección transversal de aforo durante la medida deben ser también controladas a fin de poder relacionarlas con las fluctuaciones que se han registrado en el limnímetro principal. En estos casos se recomienda instalar un limnímetro auxiliar.

4.2.1 Aforos con molinete

Cabe distinguir dos posibilidades de suspensión del molinete. Según el sistema de suspensión se distingue el aforo:

- a) Con molinete montado sobre barra
- b) Con molinete suspendido de cable

El primero se usa en ríos pequeños, esteros, vertientes o quebradas que pueden ser fácilmente vadeados a pie.

El segundo es de uso general en todos los ríos.

4.2.1.1 Aforo con barra

Al aforar con el molinete montado sobre una barra graduada se afirma esta barra sobre el lecho fluvial. El molinete es deslizado a lo largo de la barra fijándolo en cada punto en que se desea medir la velocidad.

Debe cuidarse de mantener el molinete siempre orientado normalmente a la sección de aforo delineada y las piernas del aforador alejadas del molinete aguas abajo y orientadas según el sentido del escurrimiento.

De acuerdo a la profundidad y velocidad debe elegirse el tipo de barras y su longitud.

Al aumentar las profundidades y la velocidad, aumentan las vibraciones de la barra. Estas vibraciones pueden alterar el funcionamiento del instrumento y falsear la medida. También se corre el peligro que al asentar la barra sobre el lecho se produzca allí una socavación que hace variar la profundidad. Cuando en estos casos la medición llega a presentar demasiados problemas debe procederse a aforar con el molinete suspendido por cable.

Al aforar con barras puede operarse en un vado, a pie o desde un puente. De ser posible se recomienda operar desde un puente o pasarela.

Debe insistirse que el hidromensor que afora a pie debe mantenerse alejado paralelamente del instrumento orientando sus piernas en la dirección del escurrimiento. De esta manera evita una influencia en la distribución de la velocidad de los filetes de agua cerca de la hélice del molinete.

Los aforos a pie son adecuados para profundidades pequeñas y tratándose sólo de cursos de agua de poca velocidad. En esta medida se recomienda ocupar cables marcados sujetos en ambas orillas en puntos fijos para definir las verticales de medida, las que siempre deben ser las mismas.

4.2.1.2 Suspensión por cable

El aforo con molinete suspendido de cable puede realizarse desde puentes, cable y carro, balsas o desde la orilla mediante un torno especial que permita independientemente desplazar el instrumento según la horizontal y luego según cada vertical.

Cuando se suspenda el molinete por cable se utilizará un torno adecuado al peso del escandallo utilizado, el cual a su vez dependerá de la velocidad del agua. El cable de suspensión debe ser en lo posible de acero con conductor central de 3 a 6 mm. de diámetro. Para evitar el arrastre se lastra el molinete ya sea con un escandallo coaxial con timón y contacto de fondo o con escandallo colgado debajo del molinete. En el primer caso el timón se acopla directamente al molinete. Se usa el escandallo que con el menor peso posible mantenga el arrastre en niveles aceptables, o sea no produzca un ángulo de arrastre mayor que 8° .

En lechos de poca profundidad y mucha velocidad debe usarse preferentemente el escandallo coaxial a fin de poder realizar las medidas aún a pequeñas distancias del lecho.

El método más conveniente para aforar con molinete es desde el cable y carro ya que

- no perturba la forma del lecho
- permite elegir la mejor sección del río
- se puede aforar cuando el río está en crecida.

Tiene el inconveniente de que en algunos casos el costo de su instalación puede ser alto.

Cuando el río tiene más de 350 m de ancho y el

escurrimiento no es turbulento y las velocidades son bajas se utiliza el aforo desde una balsa o bote.

Cuando el río no es muy ancho puede resultar más económico construir un puente que tender un cable.

Los aforos desde puentes contruídos para otros fines se justifican cuando el río es muy ancho y cumple con las condiciones exigidas para toda sección de aforo.

Las medidas desde un puente se ejecutan por regla general por el costado que queda mirando aguas abajo. Para ello, y en caso de producirse un arrastre apreciable, se sujeta el molinete mediante una polea corrediza a un cable tendido a través del río a unos 25 m aguas arriba del puente. Dicho cable debe quedar sobre el nivel de aguas máximas (Cable de retenida).

Se afora hacia aguas abajo siempre que el puente no produzca alteración en el flujo. Aforar hacia aguas arriba generalmente evita estas alteraciones, pero en ese caso el molinete queda oculto bajo el puente dificultando el aforo.

Los aforos desde cable y carro son los más socorridos por la falta de puentes adecuados para la medición y por la fuerte pendiente y encajonamiento de los ríos que hace poco aconsejable recurrir a los botes o balsas.

El carro de aforo acomoda al hidromensor y un ayudante. Este último será el encargado de manejar el carro y operar el torno mientras que el hidromensor se concentra en la medida propiamente tal.

El torno se ubicará en el carro de modo que la bajada del

cable con el molinete se efectúe hacia aguas arriba del carro, para prevenir obstáculos flotantes.

Conviene evitar accidentes, causados por el manejo del carro de aforo por personas ajenas al servicio, fijando el carro a un poste o anclaje mediante un dispositivo diseñado adecuadamente. El carro de aforo sólo debe ser manejado mediante una palanca especial que permanece a cargo del hidromensor. Al subir o bajar manténgase el carro frenado y no debe sujetarse con las manos del cable.

Al subir al carro de aforo deben asegurarse bien los útiles de trabajo, contador, cronómetro, lápiz, papel, etc. y contar además con un corta cable, para emergencias.

Llegando a una vertical en que desea medir debe procederse, antes de comenzar la medición, a frenar el carro mediante una cuerda que se introduce entre una rueda del carro y el cable que conviene esté incorporada al carro.

Debe mantenerse siempre la vista pegada a la superficie del río aguas arriba del molinete a fin de sacar rápidamente el instrumento fuera del agua en caso de notarse algún objeto flotante que pueda enredarse en el cable y comprometer la seguridad de los operadores. Esto es válido especialmente en épocas de crecida extraordinarias. Este es el motivo de instalar el torno hacia aguas arriba en el carro.

4.2.1.3 Uso de los molinetes

sólo deben ser ocupados molinetes calibrados y éstos solamente cuando no hay indicios visibles de una alteración de tara. Una prueba sencilla que permite establecer rápidamente en

terreno el estado en que se encuentra el molinete es dar un impulso fuerte a la hélice en un lugar cerrado y protegido del viento. La hélice debe permanecer girando sobre 90 s. Un tiempo menor es índice de falta de mantenimiento o descalibración. A esta prueba se le denominará prueba de giro.

Los molinetes son calibrados en canales de calibración de agua estancada. Mediante un carro de aforo son trasladados a lo largo del canal a distintas velocidades constantes. La ecuación de calibración se establece de acuerdo al número de revoluciones de la hélice registradas durante cada recorrido.

Para eliminar la arena que se ha introducido en los rodamientos se recomienda enjuagar estos en un baño tibio de agua con jabón disuelto, seguido de un baño en gasolina.

Aquellos molinetes que no han sido ocupados durante un prolongado período deben ser limpiados por lo menos una vez al año con gasolina y luego ser aceitados a fin de evitar el endurecimiento del aceite.

4.2.1.4 Determinación de la sección transversal y distribución de las verticales.

La determinación exacta de la sección transversal es requisito indispensable para una medición fidedigna del caudal. Ella puede ser efectuada antes o durante el aforo.

Antes de tomar una sección de aforo permanente debe procederse minuciosamente a sondear varias veces el perfil y verificar si los resultados de este sondeaje permanecen concordantes. En caso de que no se observe esta constancia deben ser registrados los motivos de su inestabilidad

(embanques, socavaciones, etc.).

El resultado de este sondeo debe ser llevado a un papel milimetrado transparente y entregarse una copia al hidromensor.

En adelante se llamará orilla izquierda (O.I.) aquella que se observa a mano izquierda mirando hacia aguas abajo del río. El mismo criterio se aplica a la designación de la orilla derecha (O.D.)

La división de la sección de aforo comienza siempre en la O.I. y a partir de un mismo punto de origen, señalizado y del cual se deja constancia en la hoja de vida de la sección. Conviene usar la torre o el macizo de anclaje como origen.

Se comienza con las orillas de crecida máxima y se ponen marcas adicionales donde se determinan los puntos o de cambios de pendientes, rastros de crecidas normales y la base de la vegetación. En seguida se toman uniformemente verticales a lo largo del cable marcado.

Cuando se afora con barra y molinete de eje horizontal, se recomienda leer la altura de agua haciendo coincidir el eje del molinete con el nivel de agua manteniendo la barra apoyada en el fondo. Al aforar con molinete Price es aconsejable definir el nivel de agua directamente en la barra.

Al usar escandallo sin contactos de fondo debe apreciarse la llegada al fondo a través de una brusca disminución de la tensión del cable.

Durante crecidas o cuando se opera en cursos torrentosos o de gran velocidad se produce un arrastre del escandallo que hace medir profundidades mayores que las reales. Debe corregirse

las profundidades según las instrucciones que figuran más adelante. En este caso es recomendable proveer al torno de un dispositivo que permita medir el ángulo de desviación.

En lechos inestables o que se tenga sospecha que se ha producido socavación debe repetirse el sondaje una vez terminado el aforo.

En los casos anteriores se ha supuesto que el limnómetro de referencia se encuentra en la sección transversal de aforo.

Cuando la sección limnimétrica y la de aforo no coinciden y tratándose de secciones poco estables también debe determinarse el perfil de la sección limnimétrica. En caso contrario los resultados de los aforos perderán mucho valor. Cuando las variaciones de la sección limnimétrica son pequeñas basta repetir en este punto los sondeos cada cierto tiempo y después de haber pasado alguna crecida de importancia.

4.2.1.5 Número de verticales por sección

De acuerdo a la forma de la sección transversal se distribuyen las verticales durante el aforo tomando en cuenta siempre los puntos de cambio de declive. Debe procurarse que por la sección determinada por dos verticales de medida no pase más de un décimo del total del caudal. Cerca de las orillas y de las pilas en el caso de puentes, deben ser tomadas más verticales. En los demás sectores se elegirá una distribución uniforme y mantener esta distribución a lo largo de todos los aforos.

Para estudiar el comportamiento del lecho conviene utilizar las mismas verticales durante los aforos, teniendo en

cuenta las indicaciones anteriores.

En épocas de crecidas y cuando el nivel de agua presenta durante el aforo fuertes fluctuaciones positivas o negativas, para ganar tiempo, pueden suprimirse algunas verticales. En todo caso jamás debe medirse con menos de 3 verticales y determinar experimentalmente el grado de correlación de estas verticales con el aforo total.

En general, en todos los tipos de aforo con molinete, se recomienda usar un distanciamiento tal entre las verticales de medida que el caudal parcial entre dos verticales no sea superior al 10% del caudal total a medir.

4.2.1.6 Número de puntos por vertical

El número de puntos por vertical en los cuales se mide la velocidad dependerá de la precisión que se desee en la medida del caudal y de la característica del escurrimiento que mide, incluyendo la profundidad en cada vertical de medida.

Los métodos más aconsejables son:

- Varios puntos por vertical
- Cinco puntos por vertical
- Tres puntos por vertical
- Dos puntos por vertical
- Un punto por vertical (0,6 de la profundidad)
- Un punto en la superficie

Los dos últimos métodos enumerados se consideran como medidas aproximadas.

Los aforos aproximados no pueden reemplazar al aforo completo o de dos puntos sino que se recurre a ellos en casos de emergencia, por ejemplo, mientras pasa una onda de crecida.

4.2.1.6.1 El aforo completo por puntos

El aforo completo por puntos se justifica sólo cuando se trata de medidas especiales y de obtener la máxima precisión en la medida. Según este método se determinan las velocidades del agua sucesivamente en distintos puntos de una vertical.

La cantidad de puntos depende de las profundidades, de las verticales y particularmente, para pequeñas profundidades de altura de construcción del conjunto molinete escandallo, es decir, la distancia del eje del molinete al punto más bajo del escandallo.

Debe medirse:

- 1° Los más cerca posible de la superficie; pero en todo caso de tal manera que el molinete se encuentre completamente introducido en el agua (no sólo hasta el eje). Al salir parcialmente la hélice, tiende a tomar una componente de la velocidad del viento con lo que falsea la medida.
- 2° Lo más cerca posible del fondo del lecho; de modo que al aforar con barras se asiente el cuerpo del molinete en la plancha de la base. Al aforar con escandallo con contacto de fondo debe tratarse que el contacto se separe levemente del fondo.

Los demás puntos deben ser elegidos en tal forma que la separación entre ellos sea más reducida cerca del fondo. A medida que se acerca a la superficie puede aumentarse la distancia entre ellos.

Al aumentar la profundidad debe aumentarse la cantidad de puntos.

4.2.1.6.2 Cinco puntos por vertical

Este método se debe utilizar para profundidad superior a 3.0 m.

Se hacen observaciones en los siguientes puntos:

- en la superficie
- a 0,2 de la profundidad
- a 0,6 de la profundidad
- a 0,8 de la profundidad
- en el fondo

Las distancias están referidas a la superficie del agua.

4.2.1.6.3 Tres puntos por vertical

Es menos preciso que el anterior, y es usado en secciones donde el escurrimiento no es uniforme, pero es más confiable que el de los dos puntos.

Se debe utilizar cuando la profundidad del río es superior a 1,50 m.

Los puntos que se miden son:

- a 0,2 de la profundidad
- a 0,6 de la profundidad
- a 0,8 de la profundidad

4.2.1.6.4 Método de los Dos puntos por vertical

El método de los dos puntos reemplaza con eficacia al aforo completo por puntos y su error con respecto al anterior es de alrededor de un $\pm 1.5\%$. Es el método de trabajo más ampliamente difundido por su sencillez de operación y rapidez de trabajo y permitir además un fácil cálculo por métodos computarizados y no dar mayor error.

Consiste en hacer observaciones de velocidades en cada vertical a los 0.2 y 0.8 de la profundidad total medida desde la superficie.

Este procedimiento simplificado de origen norteamericano se basa en el concepto de reemplazar la superficie de velocidad $v = f(h)$ por un trapecio de área equivalente. La velocidad media de una vertical se obtiene como un promedio aritmético de ambas velocidades medidas.

Debe tenerse cuidado al utilizar este método cuando se tienen escurrimientos alterados por algún obstáculo, que puede ser alguna piedra grande o roca en las orillas, que dé origen a remolinos o corrientes transversales.

Esto se refleja en las ondulaciones que presentan las curvas de velocidad, para lo cual se recomienda efectuar periódicamente algunos aforos por puntos.

Como estos remolinos se trasladan generalmente en forma de pulsaciones, ellos perjudican también al aforo completo, y por lo tanto, debe tratarse de evitar las secciones que presentan estos fenómenos.

Antes de recurrir a este procedimiento asegúrese que la sección presente un régimen uniforme que se refleja en curvas de velocidad de forma parabólica sin ondulaciones.

4.2.1.6.5 Método "0.6 de la profundidad"

Se determina la velocidad en cada vertical a los 6/10 de la profundidad total medida desde la superficie y se considera esta velocidad como V_m .

Se emplea sólo cuando el método anterior no se puede aplicar por ser insuficiente la profundidad del agua o por haber mucha vegetación a la profundidad 0.8 También se recurre a él durante una crecida que permita introducir el molinete a esta profundidad sin ser desviado demasiado de la vertical.

4.2.1.6.6 Método "de la velocidad superficial"

En casos de crecidas o cuando no sea necesaria mucha precisión puede medirse en cada vertical sólo la velocidad superficial.

Para tener la velocidad media de cada vertical es necesario multiplicar el resultado de la medida por un coeficiente. El valor más conveniente del coeficiente es 0.85, pero conviene extrapolarlo de aforos con gastos menores, pues su valor puede variar de 0.7 a 1.0 de acuerdo a las condiciones

de escurrimiento en que se realiza el aforo.

En lo posible debe tratarse en este caso de determinar separadamente el perfil de la sección mediante un escandallo pesado sin molinete, o si no, ocupar el perfil obtenido durante un sondeo inicial, o de otro aforo realizado en condiciones normales.

4.2.1.7 Duración de las medidas en cada punto.

Anomalías durante el aforo. Precisiones

La medida en un punto debe durar por lo menos 60 seg., o en su defecto para pequeñas velocidades debe registrarse un número de tres señales o el número equivalente de revoluciones a 3 señales, adaptándose a la respectiva tabla de velocidades.

Al operar con un equipo compuesto por un cronómetro y un señalizador óptico o acústico se comienza a medir el tiempo al iniciarse una señal y se termina la medida al comenzar nuevamente una señal pasados los 60 seg. Para facilitar el cálculo se recomienda usar un número par de toques (o al principio de la cuarta señal, tratándose de pequeñas velocidades).

Cuando se opera con el equipo automático Ott (interruptor del cronómetro sincronizado con contador) hay que asegurar que el molinete dé sólo una señal por cada revolución de la hélice. Pasados los 60 seg se desconecta el interruptor, leyendo en el cronómetro los segundos y décimas de segundos y en el contador el número de señales. Ambos valores se registran en el formulario. Con el contador automático Gurley el procedimiento es igual al que se usa con el Señalizador Acústico.

Observando la frecuencia de las señales puede deducirse si la hélice gira uniformemente.

En caso que el movimiento permanezca irregular debe determinarse y registrarse el origen de esta anomalía (por ejemplo: presencia de una roca en el fondo, o de un hoyo, falla instrumental, etc.).

Al término del aforo es conveniente que se comparen las profundidades determinadas durante el aforo con aquellas medidas durante el sondeo inicial.

Corrientes de reversa dan velocidades negativas.

Debe tenerse cuidado de detectar visualmente las velocidades negativas y dejarse constancia de este hecho.

El orden de secuencia de la medida en una vertical no tiene importancia, no obstante para ganar tiempo es recomendable iniciar la medida desde el fondo una vez determinada la profundidad.

Durante las crecidas se puede recurrir, además, a algunos de los métodos de aforos aproximados, que se indicarán más adelante.

De acuerdo con la precisión deseada en el aforo los métodos elegidos son los siguientes:

TIPO DE MEDIDA	PRECISION	MÉTODO
a) Medidas de filtraciones por diferencia, peritajes. Medidas de rendimiento, aforos para medida de características hidráulicas, etc.	Alta	Aforo completo por puntos.
b) Aforos corrientes	Normal	Cinco, tres, o dos puntos.
c) Aforos aproximados, no se utilizan para deducir curvas de descarga.	Mediana	0,6
d) Aforos en crecida, cuando no se puede usar (a) o (b).	Baja	Superficial

4.2.1.8 Aforo con arrastre

Quando la velocidad de la corriente es excesivamente grande, las medidas de profundidad resultan aumentadas. El escandallo y el cable son arrastrados por el flujo como se indica en la Figura 3 En efecto, el cable, en la parte comprendida entre la polea del torno (Punto A) y la superficie del agua se inclina y forma un ángulo con la vertical, y en la parte sumergida forma una curva desde la superficie del agua hasta el escandallo.

El exceso de largo (Δ_2) del cable sumergido respecto a la profundidad total real (H_{corr}) es función del "largo sumergido"

B-C y del ángulo θ ; el exceso de largo Δ_1 , del trozo de cable no sumergido ($L + \Delta_1$), es función de este mismo ángulo vertical y de la distancia vertical (L) entre el punto de suspensión del cable y la superficie del agua A-D.

El error total es $\Delta_1 + \Delta_2$, por lo tanto la profundidad real viene dada por:

$$H_{corr} = H - (\Delta_1 + \Delta_2)$$

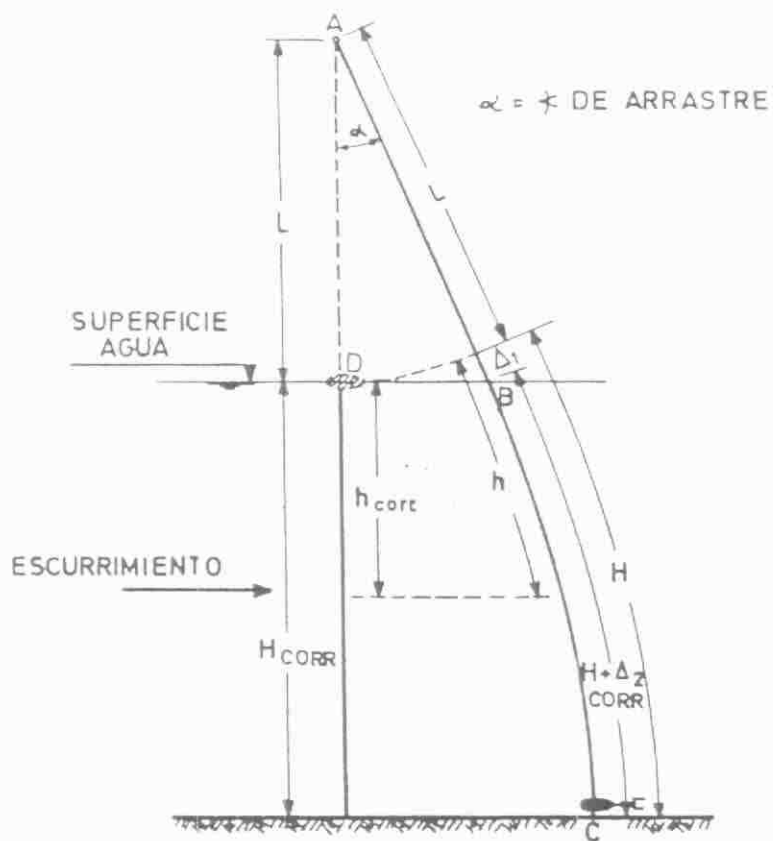
De lo anterior se deduce que para los aforos con arrastre es necesario complementar los datos que se toman en un aforo corriente siguiendo la siguiente norma:

Medir el ángulo de desviación del cable siempre que éste sea mayor que 8° y solamente para la profundidad total. La medida se debe efectuar con un medidor de ángulos o utilizando las marcas indicadas en el formulario de aforo según se explica más adelante.

Medir la altura desde el torno del carro de aforo, o puntos de suspensión del cable, al nivel del agua (L).

Tomar siempre el perfil del río, salvo en los casos en que la seguridad indique lo contrario. Aún en estos casos se debe tratar de tomar algunos puntos. En los casos en que no se pueda hacer la medición, se debe esperar que baje algo el gasto para obtenerlo.

Es fundamental tener el perfil del río pues en crecidas la socavación del lecho es de importancia.



- A = PUNTO DE SUSPENSION
- D = PUNTO DE COINCIDENCIA DEL EJE DEL MOLINETE COAXIAL CON EL NIVEL DEL AGUA
- C = PUNTO DE TOPE DEL ESCANDALLO CON EL FONDO
- L = DISTANCIA VERTICAL ENTRE EL PUNTO DE SUSPENSION DEL CABLE Y LA SUPERFICIE DEL AGUA

AFORO CON ARRASTRE
FIGURA 3

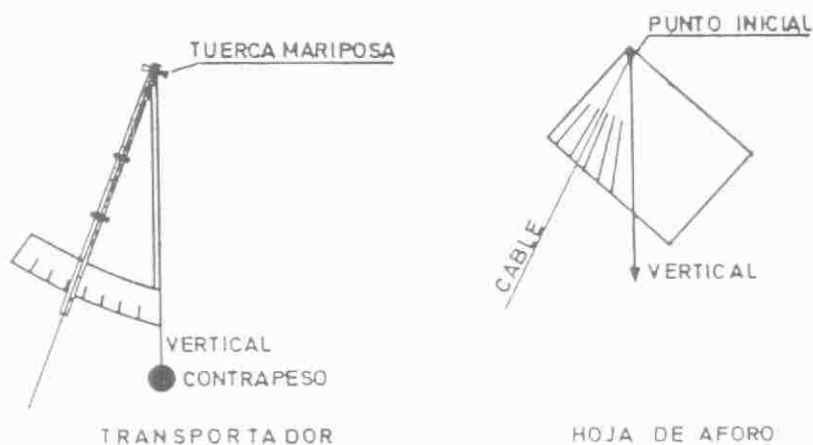


FIG 4a MEDIDOR DE ANGULO DE ARRASTRE

FIG 4b

FIGURA 4

utilización del medidor de ángulo de arrastre

Este instrumento se debe colocar para todos los aforos y antes de utilizar el aparato se debe hacer coincidir el cero de la escala con el eje del cable (el cual debe colgar libremente) mediante la correcta ubicación del contrapeso. Antes de cada medida se debe revisar la correcta ubicación del cero de la escala (Figura 4-a). Puede usarse también la hoja de aforo como se indica en la Figura 4-b) la cual viene convenientemente marcada con el coeficiente de corrección que corresponde de acuerdo al ángulo de arrastre que se forme. Esta última forma de operar facilita grandemente la ejecución y cálculo posterior de un aforo de esta naturaleza.

Forma de Operar

En cada vertical bajar el escandallo hasta la superficie del agua y anotar la distancia L . En seguida hacerlo descender hasta que toque el fondo cuidando que el cable quede tirante y anotar el ángulo o coeficiente de corrección y el valor H , que es la longitud del cable que ha debido desenrollarse del torno. En el caso que el escandallo sea arrastrado excesivamente por la corriente y no se pueda alcanzar el fondo, se medirá el ángulo para la mayor profundidad h , alcanzada en cada vertical.

Si no puede tomarse el perfil o parte de él, se debe esperar a que baje el caudal del río para obtenerlo. En este caso si el ángulo es mayor que 8° , se anotará su valor.

4.2.2 Aforos con vertedero

La altura de carga sobre un vertedero sirve como medida de

la cantidad de agua escurrida. Los vertederos se construyen en corrientes abiertas transversalmente al escurrimiento. Para mediciones exactas debe considerarse únicamente los vertederos con escurrimiento libre, porque en las otras formas de napas se producen perturbaciones en el nivel de aguas arriba de la barrera, debido a las influencias que sobre ellas ejercen los niveles de aguas abajo, lo que disminuye la exactitud en la medición.

Para medir corrientes naturales donde no se exige gran exactitud, se puede usar cualquier forma de vertedero como también cualquier forma de pared. En estos casos, se debe tener en cuenta que no existen vertederos tipo standard calibrados, por lo cual cada vertedero que se construya en estas condiciones debe ser tarado por medio de molinetes.

El gasto Q que escurre sobre un vertedero de ancho b con una altura de carga h sin velocidad inicial es:

$$Q = \frac{2}{3} m \cdot b \sqrt{2g} \quad h^{3/2} = 2.953 m \cdot b \quad h^{3/2} \quad (\text{sistema métrico})$$

El coeficiente m depende de la forma de napa, de la razón entre el ancho del canal y del vertedero, de la inclinación y altura del umbral, por lo que se debe determinar por medio de una curva de descarga.

La altura h se debe medir en una sección en la cual la dirección de la corriente es uniforme. De acuerdo a las experiencias que se han realizado, esta sección se encuentra a una distancia de $4 h$ o $2 (a+h)$ aguas arriba de la barrera, donde se presentan algunos vertederos.

El coeficiente m se ha determinado para la mayor parte de

los vertederos simples por medio de varios calibrados y por el control directo. En esta forma, este tipo de vertederos se puede usar en la hidrometría. Para mayores detalles recúrrase a un texto de Hidráulica.

4.2.3 Aforadores de escurrimiento crítico

Probablemente la versión más perfeccionada de este tipo de medidor es el Parshall de origen norteamericano.

El canal Venturi se emplea frecuentemente en las plantas de tratamiento de agua, en zona de intenso regadío en las que generalmente circulan aguas con mucho sedimento y preferentemente en los cursos bajos de los sistemas fluviales en los que a causa de la poca pendiente los vertederos de barrera vertical producen pérdidas de carga demasiado elevadas y dejan influenciados sectores situados aguas arriba aún cuando éstos se encuentren alejados del control.

En los ríos que llevan mucho arrastre por el fondo es recomendable recurrir al canal Venturi con variaciones del diseño adecuado al tipo de sedimento, forma del lecho y fluctuaciones anuales del gasto.

Las instalaciones se componen del canal propiamente tal y de un pozo limnigráfico comunicado con el canal. Ver figura 5. El gasto debe variar sólo entre ciertos límites, pues el grado de sensibilidad de la instalación tiende a variar bruscamente cuando el gasto disminuye en forma tal que sus valores se alejan demasiado del gasto máximo para el cual fue diseñado.

El principio de la medición descansa, al igual que en un tubo Venturi, en el estrechamiento del perfil de evacuación del caudal. Al estrechar el ancho del canal se peralta el nivel de aguas arriba y se genera una diferencia de altura que sirve de unidad de medida del gasto que pasa en un instante determinado.

Si se dimensiona el sector más angosto en forma tal que se produce la transición entre el régimen de ríos o corrientes tranquilas a un régimen de torrentes o corrientes disparadas, puede determinarse el gasto conociendo la profundidad del caudal aguas arriba de la crisis.

Aguas abajo del estrechamiento se vuelve a ensanchar el canal hasta alcanzar el ancho primitivo y nuevamente se pasa del régimen de torrentes al régimen de ríos.

La sección debe ser rectangular. Otros perfiles deben ser pasados a la sección rectangular.

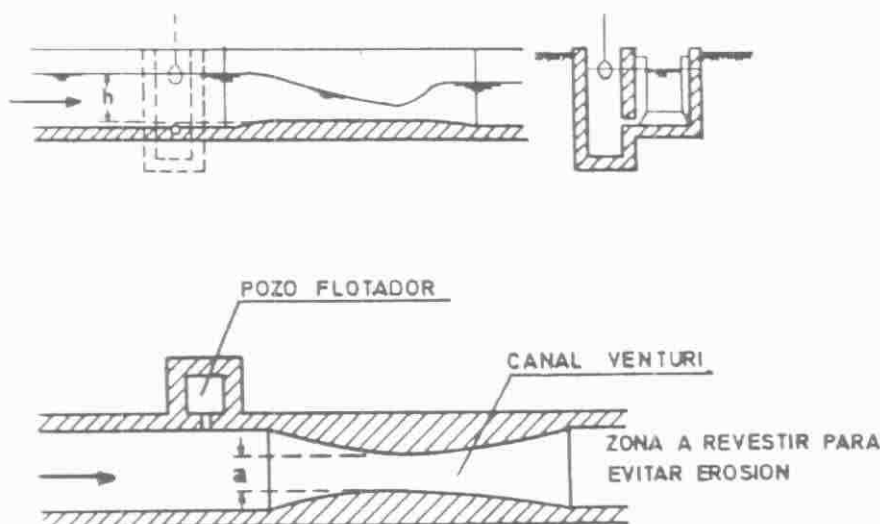
Debe cuidarse de lograr, en el sector de alimentación del canal Venturi, un escurrimiento tranquilo.

Hacia aguas abajo debe asegurarse un escurrimiento libre.

Debe hacerse un buen revestimiento del canal aguas abajo o inmediatamente después del Parshall para evitar que un resalto retrasado provoque erosiones que hagan fallar la estructura o falsee las observaciones. Si el escurrimiento en el sector de la descarga quedase influenciado desde aguas abajo debe alzarse la base de la grada situada en el estrechamiento hasta que su cota coincida con la de la singularidad que da origen al remanso. Si esto no fuese posible se debe tratar de aumentar el espesor de toda la base del canal.

Para dimensionar el Canal Venturi y el estrechamiento se consideran los siguientes factores:

- Gasto máximo y mínimo
- Pendiente
- Material del fondo y de las orillas del lecho
- Remanso y altura máxima del agua hacia aguas arriba.



Canal Venturi

FIG. 5

(*) Ríos $H > H_c$

Torrentes $H < H_c$

H : altura de aguas

H_c : altura crítica.

El gasto Q en m^3/s es determinado por la ecuación:

$$Q = K \times C \times a \times \sqrt{2g} \times h^{3/2}$$

en que:

K = Coeficiente del gasto que depende de la contracción y rugosidad de la entrada del estrechamiento.

C = Constante que depende de la relación del estrechamiento.

g = Aceleración de gravedad

a = Ancho del Canal Venturi en su sector más estrecho.

h = Profundidad del agua, aguas arriba del estrechamiento.

Agrupando los valores de las constantes se obtiene:

$$Q = K' \times h^{3/2} \quad (m^3/s)$$

La altura de agua, aguas arriba del estrechamiento es registrada por un limnógrafo que podrá ser acondicionado para traducir instantáneamente las alturas a gastos.

Todo lo anterior es sólo válido cuando el medidor no funciona ahogado. En el caso de napa sumergida debe medirse también el nivel de aguas abajo. Cuando deben medirse ambos niveles puede usarse el limnógrafo Stevens Duplex. Para más detalles recúrrase a un texto de Hidráulica.

Cuando el gasto fluctúa entre 100 y 50% del gasto para el cual se diseñó el medidor, la precisión del Venturi es de más o menos 98%. Esta precisión baja a más o menos 95% cuando el gasto

medido representa un 20% del caudal de diseño.

Dado que el Canal Venturi sólo trabaja en buenas condiciones cuando su dimensionamiento corresponde exactamente a las condiciones reales del escurrimiento y cuando posee terminaciones precisas, es recomendable recurrir a una firma especialista en el diseño de estas mediciones, o comprarlos hechos.

Para mayor seguridad debe verificarse el comportamiento del canal mediante aforos ejecutados cada cierto tiempo.

5. RECEPCION, OPERACION Y MANTENCION DE LA RED HIDROMETRICA

5.1 Recepción de las Estaciones

Terminada la construcción de una estación deberá procederse a la recepción, debiéndose revisar principalmente los siguientes puntos:

5.1.1 Todas las estructuras e instalaciones deberán estar pintadas de acuerdo a los colores oficiales y normas. La pintura debe ser de larga duración.

Deberá utilizarse pintura resistente al agua. Todas las partes metálicas expuestas a la intemperie deberán pintarse primero con una mano de pintura anticorrosiva.

- 5.1.2 El camino de acceso a la estación debe ser seguro y estar bien señalizado, así como los accesos a los diferentes instrumentos y elementos.
- 5.1.3 El punto de referencia (P.R.) debe estar en lugar visible y bien individualizado.
- 5.1.4 Los limnómetros, en tramos o continuo, deben estar instalados en forma segura e inamovible, no aceptándose reglas clavadas en árboles.
- 5.1.5 Deberá verificarse la cota de las diferentes estructuras y en especial la nivelación del 0 del limnómetro así como la de las distintas escalas.
- 5.1.6 Verificar que la estructura que sostiene el tubo limnigráfico y la caseta sea firme, segura y de acuerdo al proyecto.
- 5.1.7 Verificar el buen funcionamiento del sistema de lavado.
- 5.1.8 Verificar que el limnígrafo se encuentra bien instalado y funcionando.
- 5.1.9 Verificar que la caseta tenga candado en buen estado.

- 5.1.10 Revisar que la sección de aforo esté limpia de troncos y rocas así como que se han realizado los mejoramientos contemplados en el proyecto.
- 5.1.11 Revisar la construcción de las torres y anclajes del cable o del puente de aforo.
- 5.1.12 Verificar las marcas realizadas en el cable o estructura así como que esté suficientemente engrasado para evitar que se deteriore antes de tiempo.
- 5.1.13 Comprobar que el carro tenga su candado para evitar que sea usado por gente extraña al servicio.
- 5.1.14 Verificar que la estación tenga un letrero indicando la nomenclatura y nombre de la estación.
- 5.1.15 Verificar que la hoja de instalación esté debidamente completada con todos los datos de la estación.

5.2 Operación de una Estación Fluviométrica

Durante la vida de la estación se deberá realizar su operación y mantención.

Para una correcta operación de la red hidrométrica el hidromensor debe conocer bien todo el equipo que usará.

En este punto se indica el instrumental hidrométrico fundamental y cómo debe operarse la estación a lo largo del tiempo.

5.2.1 Instrumentos hidrométricos.

5.2.1.1 Molinetes

Los molinetes de uso más frecuente son:

- a) Molinetes de eje vertical, tipo Gurley "Price o Pigmeo".
- b) Molinetes de hélice vertical, tipo Ott X (pequeños).
- e) Molinetes de hélice horizontal, tipo Ott V "Arkansas".

Por razones de uniformidad, se recomienda no utilizar otros tipos de molinetes, tendiendo a eliminar el uso de otros similares.

5.2.1.1.1 Molinete de cazoletas tipo Gurley Price

Este molinete consta de una rueda de cazoletas montada sobre un eje vertical, apoyado en dos descansos. En la parte superior el eje acciona un contacto colocado en el interior de una cámara. Es posible obtener que este contacto produzca un contacto al cabo de una o cinco revoluciones. Debe tenerse especial cuidado en observar el contacto que se está usando.

El empleo del molinete debe efectuarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante, que incluyen el limpiado y cambio

de aceite después de cada empleo. Se insiste en una limpieza acuciosa y permanente del instrumento.

La calibración de estos molinetes puede ser colectiva o individual.

La calibración colectiva proporciona una tabla uniforme de valores para todos los molinetes que fueron producidos de una serie, lo que introduce errores de alguna consideración al tomar cada molinete individual. El empleo de estos molinetes no es aceptable en medidas de precisión, ni para utilizarlos de molinetes de patrón.

No se recomienda el uso del Molinete Price si la velocidad es inferior a 10 cm/s^* o superior a 7 metros por segundo. La existencia de altas concentraciones de sedimento lo afectan menos que los molinetes Ott. En cambio la existencia de velocidades transversales al sentido del escurrimiento alteran la medida, en los molinetes tipo Ott.

El molinete Price es de construcción muy robusta, y es fácilmente transportable. Como además es muy resistente al maltrato, se recomienda su empleo en hidrometría general.

(*) Para cursos de agua pequeños y de poca profundidad existe la versión de este molinete en tamaño reducido llamado Pigmeo, el que debe utilizarse montado en barra para estos casos.

5.2.2.3 Aforos

- a) Toda estación debe aforarse al menos 1 vez al mes. En el caso de estaciones importantes desde el punto de vista hidrológico o de proyecto de una obra hidráulica importante la frecuencia debe ser de 2 veces al mes.
- b) Durante el período de crecidas el hidromensor deberá tratar de aforar algunas de las mayores crecidas que se produzcan en dicha estación para poder trazar la parte alta de las curvas de descarga.
- c) Si no se ha podido aforar la crecida, el hidromensor deberá estacar el rastro dejado por las aguas máximas y realizar el levantamiento topográfico del eje hidráulico. Para ello se tomará como base la sección limnimétrica y de aforo.
- d) Si en la estación se han instalado limnímetros de aguas máximas deberá efectuarse su lectura inmediatamente después de terminada la crecida y dejar los limnímetros en condiciones de registrar una nueva crecida.
- e) Cuando la estación sea de lecho móvil deberá aumentarse la frecuencia de los aforos cuando se detecte un cambio de curva de descarga. Para ello el hidromensor deberá recibir la correspondiente instrucción de la Oficina a cargo del cálculo de la estadística fluviométrica.
- f) En zonas aisladas y de difícil acceso la frecuencia de los aforos puede disminuirse a uno cada dos o tres meses. En este caso deben efectuarse por lo menos dos aforos simultáneos para asegurarse de la bondad de la medida.

Estas estaciones conviene que no se ubiquen en tramos de ríos de lecho móvil.

- g) Todo hidromensor deberá tener una copia de la curva de descarga vigente para que pueda conocer el comportamiento de la estación así como de la necesidad de efectuar aforos en ciertos tramos de la curva.
- h) La Oficina de Estadísticas fluviométricas deberá solicitar a cada hidromensor las alturas de los aforos que ella necesita para el trazado de la curva de descarga en una estación determinada.

5.3 Mantenimiento de una Estación Hidrométrica

Los trabajos de mantención deberán consistir en:

- a) Revisión general de la estructura
- b) Nivelar el limnómetro al menos 1 vez al año y después de una gran crecida o cuando se supone que ha sufrido una variación o daño. Nunca deberán ser reparados o movidos si previamente no se efectúa una nivelación para comprobar la posible descorrección sufrida.
- c) Limpiar y lubricar el limnógrafo una vez al año.
- d) Limpiar el pozo del limnógrafo de acuerdo a la experiencia que se tenga de la estación. En ríos con mucho sedimento se deberá limpiar cada vez que se visita la estación.
- e) Arreglar y despejar los accesos.

- f) Limpiar de vegetación los alrededores de la estación.
- g) Revisar el tensado del cable.
- h) Revisar los pernos Crosby.
- i) Revisar los anclajes del cable.
- j) Pintar los elementos de la estación al menos una vez al año.

La frecuencia de los trabajos de mantención dependerá de la zona en la cual se encuentre la estación y deberá ser determinada por el hidromensor o el inspector que la visite. De ser posible, el hidromensor deberá hacer mantenciones pequeñas cada vez que va aforar, para lo cual utilizará los obreros auxiliares que le acompañen.

6. BIBLIOGRAFIA

6.1 NORMAS HIDROMETRICAS TOMO 1 y 2

6.2 INFORMES TECNICOS DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA

CALCULO DE ESTADISTICAS FLUVIOMETRICAS

1991

INDICE GENERAL

I INTRODUCCION GENERAL.

DIAGRAMA GENERAL PARA EL DISEÑO DE CURVAS DE
DESCARGA

II ANTECEDENTES PREVIOS

2.1 ANALISIS DE ALTURAS LIMNIMETRICAS

2.2 ANALISIS DE ALTURAS LIMNIGRAFICAS

2.3 ANALISIS DE AFOROS

2.4 INFORMES DE TERRENO

2.4.1 Informe Técnico de ubicación y Situación
de la Estación

2.4.2 Informe Técnico de las Características de
Estación

2.4.3 Informe Técnico de Obras en la Estación

2.4.4 Informe de Eventos Adyacentes a la Estación

2.4.5 Informes Especiales de la Estación

2.4.6 Instrucciones Generales para el Levantamiento
de Perfiles topográficos transversales

2.5 BITACORA DE LA ESTACION

2.5.1 Funciones

2.5.2 Eventos

2.4.3 Catálogo de Parámetros

III TRAZADO DE LA CURVA DE DESCARGA

3.1 ELECCION DE ESCALAS

3.2 PLOTEO DE AFOROS

- 3.3 SEGUIMIENTO
- 3.4 VALIDEZ DE LA CURVA
- 3.5 TRAZADO PRELIMINAR
- 3.6 ANALISIS DE AFOROS DISPERSOS
- 3.7 EXTRAPOLACIONES PARTE ALTA
 - 3.7.1 Extrapolación Gráfica
 - 3.7.2 Area-velocidad Media
 - 3.7.3 Método de Chezy o Stevens
 - 3.7.4 Método de Manning
 - 3.7.5 Curva Analítica - Logarítmica
 - 3.7.6 Método Analítico por Ecuación de 2º Grado
 - 3.7.7 Método de Luna y Maddock
 - 3.7.8 Método de Leach
 - 3.7.9 Método para Canales
 - 3.7.10 Método para Vertederos
 - 3.7.11 Canaleta Venturi o Parshall
- 3.8 EXTRAPOLACIONES PARTE BAJA
 - 3.8.1 Método Gráfico
 - 3.8.2 Método de Running
 - 3.8.3 Método de Johnson
- 3.9 FAMILIA DE CURVAS
- 3.10 CURVA FUNDAMENTAL
- 3.11 AJUSTE DE EXTRAPOLACIONES
- 3.12 TRAZADO DEFINITIVO Y TEXTO
- 3.13 TABULACION DE LA CURVA DE DESCARGA
 - 3.13.1 Instrucciones de llenado del formulario
F-3 Curvas de Descarga

IV PERIODICIDAD DE AFOROS

- 4.1 FRECUENCIA DE AFOROS
- 4.2 CONDICIONES PARA DETERMINAR LA FRECUENCIA DE AFOROS
 - 4.2.1 Períodos de Crecidas
 - 4.2.2 Períodos de Sequías

- 4.2.3 Número de Curvas de Descarga
- 4.2.4 Ubicación de la Estación
- 4.2.5 Estabilidad de la Estación
- 4.2.6 Estaciones Especiales
- 4.2.7 Pasos a Seguir

V APLICACION DE LA CURVA DE DESCARGA

- 5.1 VALIDACION DE AFOROS EN TERRENO
- 5.2 ESTADISTICA MANUAL
 - 5.2.1 Proceso computacional
 - 5.2.2 Proceso de cálculo manual

VI CONCLUSIONES

VII BIBLIOGRAFIA

DISEÑO DE CURVAS DE DESCARGA

I INTRODUCCION GENERAL

El presente apunte, tiene el propósito de dar una descripción general de todos los aspectos que se deben considerar para diseñar las curvas de descarga. Por lo tanto, no se abarcarán las teorías hidráulicas concernientes, sólo serán mencionadas las fórmulas o métodos de trabajo según sea el caso.

Se llama Curva de Descarga a la relación que existe entre la altura de nivel de agua y el caudal que escurre para dicho nivel en un determinado período. Esta relación es unívoca en régimen permanente, es decir, para cada altura corresponde solamente un valor de caudal.

También puede decirse en forma simplificada, que la curva de descarga, es la relación gráfica de aforos con los niveles de agua, que permite traducir un registro continuo de niveles en volumen por unidad de tiempo.

Al diseñar las curvas de descarga, siempre debe tenerse presente que el objetivo final es obtener una estadística fluviométrica continua y confiable.

Las Normas Hidrométricas que incluyen el tema de las curvas de descarga en el tomo II, se darán por conocidas, serán utilizadas y/o mencionadas de acuerdo a la oportunidad en que sea necesario.

DIAGRAMA GENERAL PARA EL DISEÑO DE CURVAS DE DESCARGA

				-- ESCALAS
				- FLOTEO AFOROS
ANALISIS		FORMULARIO		- SEGUIMIENTO
DE	_____	RESUMEN	_____	
AFOROS		DE AFOROS		- VALIDEZ
				- TRAZADO PRELIMINAR
ANALISIS		FORMULARIO		
DE	_____	RESUMEN	_____	- AFOROS DISPERSOS
ALT. LM		DE ALT. LM.		
				CURVAS - EXTRAP. ALTA
				_DE _____
				DESCARGA
				- EXTRAP. BAJA
ANALISIS		RELACION		
DE	_____	DE	_____	
ALT. LG		LIMNIGRAMA		- FAMILIA CURVAS
				- CURVA FUNDAM.
INFORMES		BITACORA		- AJUSTE DE EXTRAP.
DE	_____	DE	_____	
TERRENO		ESTACIONES		
				- TRAZADO DEFINITIVO
				- TEXTO
				- TABULACION F-3

Para trazar una curva de descarga, el primer paso no es ir directamente a dibujar las coordenadas altura (H) y caudal (Q) de los aforos, para luego trazar una curva compensatoria que pase por los aforos; sino que, es muy importante que primero se realice un análisis completo y detallado de los registros generados en la estación fluviométrica: observaciones limnimétricas, limnigramas, aforos; como también es importante conocer la estación y su comportamiento. Para ello, es necesario realizar visitas inspectivas para cerciorarse de su estado y funcionamiento dejando constancia de ello en informes técnicos; y hacer un registro de los acontecimientos ocurridos en la bitácora de la estación.

De esta forma se podrá interpretar y/o corregir los registros en forma adecuada y realizar un diseño óptimo de las curvas de descarga, para obtener finalmente una estadística confiable con un mínimo de error.

Los estudios y análisis previos que es necesario realizar son los siguientes:

- 1 ANALISIS DE ALTURAS LIMNIMETRICAS
- 2 ANALISIS DE ALTURAS LIMNIGRAFICAS
- 3 ANALISIS DE LOS AFOROS
- 4 ELABORACION Y ANALISIS DE INFORMES DE TERRENO
- 5 BITACORA DE LA ESTACION

Cada análisis, debe realizarse en forma paralela a la luz de todos los antecedentes. El orden indicado, es sólo para efecto de tratarlo a continuación, en el presente apunte.

PARA CADA MES SE REVISARA DETALLADAMENTE:

- 1 QUE EL NOMBRE DE LA ESTACION CORRESPONDA.
- 2 FECHAS
- 3 CODIGOS
- 4 ESTADO DEL LIMNIMETRO (BIEN, INCLINADO Y CUANTO, ILEGIBLE)
- 5 LEGIBILIDAD DE LOS DATOS
- 6 SECUENCIA DE ALTURAS EN EL MES
- 7 CONCORDANCIA DE ALTURAS CON RELACION AL ESTADO DEL TIEMPO
- 8 SECUENCIA DE ALTURAS CON EL MES ANTERIOR Y POSTERIOR
- 9 HOMogeneIDAD DE ALTURAS, PARA PERIODOS DE CRECIDAS Y SEQUIAS EN RELACION A OTRAS ESTACIONES CERCANAS.
- 10 ALTURAS EXTREMAS OBSERVADAS.
- 11 CAMBIOS DE ORIGEN DEL LIMNIMETRO
- 12 AGREGADO DE LIMNIMETRO SOBRE EL ANTERIOR SIN CAMBIO DE ORIGEN.
- 13 CONCORDANCIA DE ALTURAS CON LOS REGISTROS LIMNIGRAFICOS.
- 14 CONCORDANCIA DE ALTURAS CON LAS ALTURAS DE LOS AFOROS.
- 15 CONCORDANCIA DE ALTURAS CON ALTURAS DE INSPECCIONES.
- 16 PERIODOS DE INFORMACION DE MALA CALIDAD
- 17 PERIODOS DE INFORMACION DUDOSA Y/O CORREGIDA
- 18 PERIODOS SIN INFORMACION.
- 19 SI FRENTE AL LIMNIMETRO PASA TODA EL AGUA.
- 20 SI EL LIMNIMETRO ESTA EMBANCADO
- 21 SI HAY CASOS EN QUE EL RIO ESTA SECO
- 22 SI EXISTE MAS DE UN BRAZO
- 23 PROCURAR INTERPRETAR TODA ANORMALIDAD (SI SE PUEDE).

OBLIGATORIO

- 1 TODO EVENTO, YA SEA ARTIFICIAL O NATURAL, DEBE QUEDAR REGISTRADO EN EL FORMULARIO A4 "BITACORA DE LA ESTACION".
- 2 DEBE LLENARSE COMPLETO EL FORMULARIO "RESUMEN DE ALTURAS LIMNIMETRICAS" QUE INDICA LOS NUMEROS DE DIAS OBSERVADOS, MAXIMOS Y MINIMOS CON SUS FECHAS DE OCURRENCIA.

RESUMEN DE ALTURAS LIMNIMETRICAS

HOYA — ESTACION — FECHA —

AÑO	MES	Nº DIAS OBS	H MAX	DIA	H MIN	DIA	AÑO	MES	Nº DIAS OBS	H MAX	DIA	H MIN	DIA
19	— Enero						19	— Enero					
	Febrero							Febrero					
	Marzo							Marzo					
	Abril							Abril					
	Mayo							Mayo					
	Junio							Junio					
	Julio							Julio					
	Agosto							Agosto					
	Septiembre							Septiembre					
	Octubre							Octubre					
	Noviembre							Noviembre					
	Diciembre							Diciembre					
19	— Enero						19	— Enero					
	Febrero							Febrero					
	Marzo							Marzo					
	Abril							Abril					
	Mayo							Mayo					
	Junio							Junio					
	Julio							Julio					
	Agosto							Agosto					
	Septiembre							Septiembre					
	Octubre							Octubre					
	Noviembre							Noviembre					
	Diciembre							Diciembre					
19	— Enero						19	— Enero					
	Febrero							Febrero					
	Marzo							Marzo					
	Abril							Abril					
	Mayo							Mayo					
	Junio							Junio					
	Julio							Julio					
	Agosto							Agosto					
	Septiembre							Septiembre					
	Octubre							Octubre					
	Noviembre							Noviembre					
	Diciembre							Diciembre					
19	— Enero						19	— Enero					
	Febrero							Febrero					
	Marzo							Marzo					
	Abril							Abril					
	Mayo							Mayo					
	Junio							Junio					
	Julio							Julio					
	Agosto							Agosto					
	Septiembre							Septiembre					
	Octubre							Octubre					
	Noviembre							Noviembre					
	Diciembre							Diciembre					
19	— Enero						19	— Enero					
	Febrero							Febrero					
	Marzo							Marzo					
	Abril							Abril					
	Mayo							Mayo					
	Junio							Junio					
	Julio							Julio					
	Agosto							Agosto					
	Septiembre							Septiembre					
	Octubre							Octubre					
	Noviembre							Noviembre					
	Diciembre							Diciembre					
19	— Enero						19	— Enero					
	Febrero							Febrero					
	Marzo							Marzo					
	Abril							Abril					
	Mayo							Mayo					
	Junio							Junio					
	Julio							Julio					
	Agosto							Agosto					
	Septiembre							Septiembre					
	Octubre							Octubre					
	Noviembre							Noviembre					
	Diciembre							Diciembre					

OBSERVACIONES.

LOS PERIODOS DE INSPECCION DEBEN ORDENARSE EN UNA RELACION DE LIMNIGRAMA, QUE CONTEMPLARA UNA REVISION DETALLADA DE LO SIGUIENTE:

- 1 Que el nombre de la estación corresponda
- 2 Fechas de inicio y término del periodo
- 3 Códigos
- 4 Calajes de altura y tiempo
- 5 Escalas de altura y tiempo
- 6 Correcciones de altura y tiempo
- 7 Continuidad del registro con respecto al mes anterior y dentro del mismo período.
- 8 Continuidad y homogeneidad de alturas en períodos de crecidas y sequías en relación a otras estaciones cercanas.
- 9 Alturas extremas instantáneas con sus fechas de ocurrencia.
- 10 Cambios de origen del limnómetro.
- 11 Agregado de limnómetro sobre el anterior sin cambios de origen.
- 12 Concordancia del registro con las alturas limnimétricas.
- 13 Concordancia del registro con las alturas de los aforos
- 14 Concordancia del registro con las alturas de inspecciones

- 15 Períodos de inscripción defectuosa
- 16 Períodos de información mala
- 17 Los períodos de información dudosa y/o corregida.
- 18 Los períodos sin información
- 19 Si frente al limnómetro y limnigráfo pasa toda el agua.
- 20 Si pasa toda el agua por la aducción, o si está tapada o
semi-obstruida.
- 21 Si hay casos en que el río está seco.
- 22 Si existe más de un brazo
- 23 Si el cable de bolitas está bien
- 24 Interpretar las anotaciones del hidromensor; por lo tanto,
éstas deben ser muy claras e incluir la fecha y el nombre
del revisor.
- 25 Detectar la existencia de embanques en el pozo y/o
limnómetro interior.
- 26 Los períodos de inversiones.
- 27 Los períodos de congelamientos del pozo y/o del río
- 28 Si hay fallas de reloj detenido, atrasado, adelantado.
- 29 Para casos especiales, como: períodos congelados, saltos
anormales, grandes crecidas, etc., deberán utilizarse para
su análisis los registros de otras estaciones
fluviométricas cercanas e inclusive estaciones
meteorológicas (precipitaciones, temperaturas); y en
algunos casos será necesario comparar con la regulación de
Embalses o Centrales cercanas en cuanto a orden de
magnitud y tiempos, de manejo del agua que permita aclarar

las anomalías en los registros.

OBLIGATORIO:

- 1 TODO EVENTO, YA SEA PRODUCIDO POR INTERVENCION HUMANA O NATURAL, DEBE QUEDAR REGISTRADO EN EL FORMULARIO A4 "BITACORA DE LA ESTACION".
- 2 DEBE LLENARSE COMPLETO EL FORMULARIO "RELACION DE LIMNIGRAMA" QUE INDICA EL INICIO Y TERMINO DEL PERIODO, CON SUS ALTURAS EXTREMAS Y FECHAS DE OCURRENCIA RESPECTIVAS, PARA SU DIGITALIZACION.
PARA EL CASO DE UNA TRADUCCION MANUAL Y PROVISORIA, ESTE FORMULARIO PROPORCIONA EL MARCO DE REFERENCIA CON EL INICIO Y TERMINO, MAXIMO Y MINIMO DEL PERIODO, CORRECCION DE ALTURA Y EL ORIGEN SE CAMBIA POR CORRECCION DE TIEMPO.

ROL

RELACION DE LIMNIGRAMA

Estación:

[illegible]

REVISOR: _____

A AFOROS DE TERRENO (formulario F-2)

EN CADA AFORO DE TERRENO DEBE REVISARSE DETALLADAMENTE:

- 1 Nombre de la estación.
- 2 Fecha y Hora
- 3 Códigos
- 4 Verificar si el aforo se realizó en el lugar habitual
- 5 Ver como fue realizado el aforo, si desde carro de aforo, desde puente, vadeando, etc.
- 6 Tipo de sección de aforo; si es revestida, vertedero, parshall, natural, con vegetación, pedregosa, arenosa, etc.
- 7 Revisar si su ejecución cumple con las normas hidrométricas, número de verticales, número de puntos por verticales, estado del molinete, borne, tiempos, etc.
- 8 Razonabilidad de los datos.
- 9 Proporción de los caudales por vertical y total.
- 10 Número de brazos
- 11 La altura del aforo debe concordar con la altura del limnigrama y/o registros limnimétricos.
- 12 Verificar las cotas de referencia del limnómetro cada cierto tiempo (anual), y en especial después de cada evento importante, como crecidas, construcciones o reparaciones.
- 13 Condiciones climáticas en que se realizó el aforo (calor, frío, lluvia, nevada, granizo, viento, etc.)
- 14 Condiciones de seguridad en que se realizó el aforo: equipo personal necesario para el tiempo imperante y forma de ejecución del aforo, estado del carro de aforo, estado del puente, etc.

DEBEN ANALIZARSE LA RAZONABILIDAD DE LOS RESULTADOS Y SU CORRESPONDENCIA CON EL AFORO DE TERRENO, VERIFICANDO:

- 1 Nombre de la estación
- 2 Código BNA
- 3 Fecha del aforo
- 4 altura limnimétrica media del aforo
- 5 Caudal total
- 6 Hora media del aforo
- 7 Número de brazos
- 8 Velocidad media
- 9 Profundidad media
- 10 Area de la sección
- 11 Perímetro mojado
- 12 Radio hidráulico
- 13 Factor hidráulico de Manning
- 14 Factor hidráulico de Chezy
- 15 Ancho superficial
- 16 Valores por abscisa deben ser razonables y conforme a las Normas Hidrométricas.

OBLIGATORIO:

- 1 DEBE LLENARSE EN FORMA COMPLETA EL FORMULARIO "RESUMEN DE AFOROS".
- 2 TODOS LOS EVENTOS OCURRIDOS EN LA ESTACION, YA SEAN FENOMENOS NATURALES O PRODUCIDOS POR INTERVENCION HUMANA, DEBEN QUEDAR REGISTRADOS EN EL FORMULARIO A4 "BITACORA DE ESTACIONES".

El propósito de este informe, es tener claro la ubicación y situación geográfica de la estación con respecto a su área tributaria circundante. De manera tal, que al analizar los datos registrados en la estación, se puedan tener presente los lugares singulares y obras que pudieran incidir en los datos, y estimar así, un rango de influencia de éstos sobre la estación.

Interesa conocer por lo tanto, la existencia y ubicación de estos lugares singulares y obras, aguas arriba y aguas abajo de la estación, tales como:

- Fotocopia de la zona en escala 1:50.000 con la ubicación de la estación
- Confluencia con otro río y distancia
- Bocatoma de canales y distancia
- Centrales y distancia
- Desagües y distancia
- Embalses y distancia
- Saltos o Cascadas y distancia
- Lagos o Lagunas y distancia
- Puentes y distancia
-

Este informe debe ser realizado en el momento de construir la estación ó bien cuando se inician las mediciones (en caso de traspaso), o la brevedad si no se tiene. Este considerará una descripción general de toda la situación y de cada una de las obras y/o lugares singulares de interés. Es conveniente la ayuda de un croquis en planta que sirva de referencia, incluyendo relaciones de distancias y fechas.

Los informes de terreno son muy importantes, pues nos entregan una visión más completa de la estación. Proporcionan una adecuada información "trasladando en alguna medida a la persona que interpreta la información a terreno" (o viceversa) permitiendo de esta forma, una mejor interpretación de los datos registrados, un correcto diseño de la curva de descarga y, por lo tanto, una estadística más veraz y confiable.

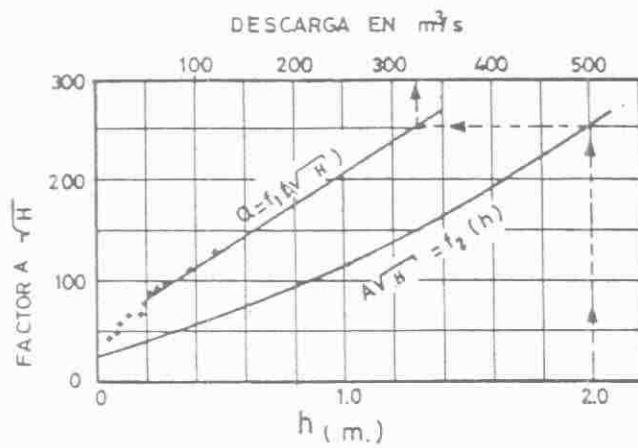
Estos informes deben ser lo más claro posible, con un lenguaje técnico apropiado, completos y sintetizados. Razón por la cual sólo deben ser elaborados por personal especializado, ya sea de la oficina regional ó del nivel central. Siempre debe indicarse el nombre del profesional que lo realiza y todas las fechas pertinentes, incluyendo la de la elaboración del informe.

Los informes técnicos que a continuación se señalan están orientados a clarificar los conceptos necesarios para el diseño de las curvas de descarga, no a formularios que deban llenarse en cada uno de ellos, aunque no los excluye si los hubiera.

A fin de ordenar estos informes para efectos del trazado de curvas de descarga, se pueden clasificar en cinco tipos principalmente:

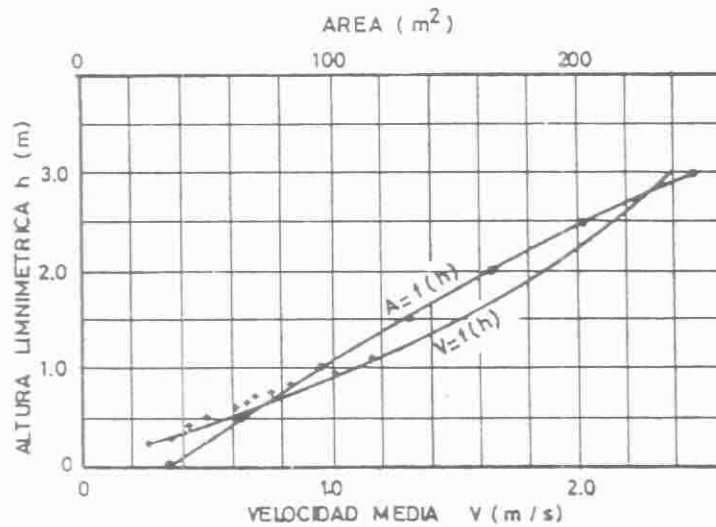
- 1 Informe Técnico de ubicación y situación de la estación
- 2 Informe Técnico de las características de la estación
- 3 Informe Técnico de obras en la estación
- 4 Informe de eventos adyacentes de la estación
- 5 Informes especiales de la estación

Al final de este punto de informes, se entregan las características generales que se deben considerar para el levantamiento de perfiles topográficos transversales.



CURVA DE DESCARGA. METODO DE CHEZY o STEVENS

fig. Nº 2



CURVA DE DESCARGA. METODO AREA-VELOCIDAD MEDIA

fig. Nº 1

Este informe tiene por propósito describir las características hidráulicas, geométricas y de acceso de la estación de control que puedan incidir en los datos generados en las curvas de descarga y por lo tanto en la estadística final.

Dicho informe consta de cuatro partes:

A Descripción de características hidráulicas

Estas permitirán formarse una idea más precisa del escurrimiento y en especial para las extrapolaciones de las curvas de descarga.

Deben considerarse aspectos como:

- Materiales que conforman el lecho
- Materiales que conforman las laderas
- Materiales que conforman la zona de inundación
- Fotografías de diversas vistas de la estación y de puntos singulares, ya sea de ésta o cercanos que pudiesen influir en los registros. Siempre deben indicarse dirección de aguas, altura limnimétrica y fechas.
- saltos o resaltos
- Escurrimiento de río o torrente
- Singularidades aguas arriba o aguas abajo que pudiesen alterar el régimen del escurrimiento.
- Pendientes longitudinales (fuertes o suaves)
- Etc.

B Descripción de Características geométricas

Es muy importante conocer las diferentes dimensiones que tiene la estación fluviométrica, de manera de contar con datos precisos para la extrapolación de las curvas de descarga.

Aspectos a considerar:

- Levantamiento topográfico del perfil transversal de la sección de aforos de la estación. Este es muy útil y necesario para la extrapolación por el método de Área/Velocidad y análisis de secciones comparativas con los aforos.
Es conveniente levantar estos perfiles en forma periódica (depende de la estabilidad de la estación) y en especial debe realizarse posterior a cada evento importante, como grandes crecidas, construcciones, reparaciones significativas, etc.
- Debe también realizarse un croquis en planta, abarcando unos 200 mt. aguas arriba y aguas abajo de la estación, incluyendo instrumental, relaciones de distancias, puntos de referencia, etc.
- Es conveniente levantar la topografía de toda el área que rodea la estación, para estudios de crecidas posteriores.

C Descripción de acceso

Se debe considerar las condiciones de acceso especialmente cuando se estima que pudiesen influir en el escurrimiento, ó bien no permita controlar el río en algunas ocasiones (crecidas), como puentes, caminos que vadean el río, zona de

inundación, etc., para lo cual es necesario la ayuda de un croquis o puede incluirse en el punto anterior.

D Características de operación de estaciones limnigráficas

Este informe, definido en formulario del Sub-Depto.de Hidrometría, es muy útil para el diseño de las curvas de descarga, pues muestra un croquis de la instalación limnigráfica y sus datos de operación.

2.4.3 INFORME TECNICO DE OBRAS EN LA ESTACION

Este informe es de mucha utilidad, pues permite visualizar la magnitud de la construcción y/o reparación de la estación y su efecto en las curvas de descarga.

Dicho informe debe ser claro, oportuno y sintetizado. Cuando sea necesario deberán adjuntarse croquis explicativos y fotografías. Debe quedar muy claro los cambios de limnómetro, revestimiento de muros, revestimiento del radier, muros guadores del río, desviaciones del escurrimiento, etc.

2.4.4 INFORME DE EVENTOS ADYACENTES A LA ESTACION

En algunas oportunidades las curvas de descargas se ven afectadas por eventos que no son propios de la estación, ni tampoco son de carácter hidrológico. Entre estos eventos están las llamadas obras adyacentes, tales como construcciones, reparaciones, modificaciones de obras de mayor o menor envergadura que no tienen relación con la estación propiamente tal, y sin embargo podrían afectar las mediciones del caudal. Por ejemplo: puentes, caminos paralelos al río, bocatomas de

Por ejemplo: puentes, caminos paralelos al río, bocatomas de canales, etc.

El informe debe considerar una descripción general de las obras, indicando en lo posible fechas de inicio y término junto a un croquis explicativo con relaciones de distancia. Es importante que el técnico de su opinión de como podría influir en los registros.

2.4.5 INFORME ESPECIALES DE LA ESTACION

Se consideran dos tipos de informes especiales:

A De situación provisoria de la estación

A veces suele suceder, que cuando la estación se ve afectada por algún evento (como grandes crecidas, obras, río en varios brazos, etc.), ésta deja de controlar correctamente el recurso. Sin embargo, para no dejar discontinua la información se recurre a medidas provisionarias, como instalar uno o más limnímetros provisionarios, realizar los aforos en lugares no habituales, etc. todo esto mientras se toma una decisión definitiva respecto al problema. No obstante, puede pasar bastante tiempo en que ésta decisión se tome, y que por otra parte, pudiese resultar que, con los datos registrados en esta situación provisoria, no sea posible generar una estadística confiable, ó bien que no se tenga clara la situación, que permita una correcta interpretación o corrección de los datos.

Lo indicado anteriormente, hace que este informe sea muy importante, y que sea realizado por la oficina regional a la brevedad, cuando ocurra ésta situación. Debe ser muy claro, explícito, completo y oportuno.

Para el caso de aforos realizados en un lugar no habitual, debe asignarse el código de la estación que se pretendía medir y no considerarlo como aforo aislado.

B Informes o Estudios especiales de Crecidas

Al realizar el diseño de las curvas se descarga, generalmente se cuenta con muy poco o nada de información para el trazado de la parte alta de la curva. Lo anterior, hace que estos estudios de crecidas sean de mucha importancia ya que, no sólo pueden afectar la definición de la parte alta de la curva cuyo período de validez incluye la crecida sino también, otras curvas ya definidas para períodos anteriores.

Estos estudios de crecidas, generalmente son realizados en el nivel central con el apoyo de la región. Lo importante, es que siempre deben tenerse presente para el diseño de las curvas de descarga.

INSTRUCCIONES GENERALES PARA EL LEVANTAMIENTO
DE PERFILES TOPOGRAFICOS TRANSVERSALES

- 1 El perfil transversal de una Estación fluviométrica, debe efectuarse con una nivelación topográfica cerrada, en la sección de aforos, de tal manera que permita medir las áreas a que da lugar las variaciones limnimétricas, **HASTA LA MAXIMA CRECIDA HISTORICA EN LA ESTACION.**
- 2 El perfil transversal de la sección de aforos, debe estar ligado a un sistema de coordenadas rectangulares, que permitan reubicar los aforos en él. El origen de abcisas debe ubicarse en el vértice de la torre izquierda del andarivel, y a falta de ésta, en el anclaje izquierdo del carro de aforos (mirando desde aguas arriba de la estación). A falta de los anteriores, el origen se ubicará en el borde izquierdo del puente, o borde del revestimiento, ó en el limnómetro según sea el caso.
- 3 Las cotas de niveles del perfil transversal de la sección de aforos, estarán referidas al cero del limnómetro al que se le asignará la cota 100.00 mt. para evitar valores negativos.

- 4 El cero del limnómetro, o cota 100.00 debe estar ligado al P. R. de la estación. El punto de referencia (P. R.) debe estar realizado de acuerdo a las Normas Hidrométricas (punto 2.1.1 del tomo I), sin embargo, si éste no se encuentra materializado, podrá fijarse en forma provisoria, pintando un círculo rojo con centro blanco, en dos puntos fijos diferentes, sobre una gran roca inamovible o sobre los macizos de anclajes del cable o torre.
- 5 Los puntos de referencia (P. R.) deben tener cota además referida al nivel del mar, determinada a partir de un PR del I.G.M. u otro de cota conocida y, en caso de no ser posible mediante el uso de altímetro. Deben hacerse las correcciones de altura a la lectura del altímetro conforme a las Normas Hidrométricas 2.1.1.
- 6 El perfil transversal de la sección de aforos, debe presentarse en tamaño de 30 x 100 cm. más margen de 1.5 cm. por lado, a una escala adecuada de tal manera que su trazado no deforme mucho la figura geométrica. Podrán utilizarse escalas vertical y horizontal diferentes, que permitan una correcta interpretación de la sección.

- 7 En el perfil de la sección, deben indicarse los materiales que conforman el lecho y laderas del río, tipo de vegetación preponderante y todo otro antecedente que permita tener una idea lo más precisa posible de las condiciones hidráulicas de la sección.
- 8 El plano del perfil transversal debe venir enmarcado con la carátula en el extremo inferior derecho.
- 9 Se deberá calcular y graficar el área del perfil transversal para cada 10cm. de altura, hasta tres metros sobre la máxima crecida histórica de la estación. Este gráfico será útil para el estudio de la parte alta de la curva de descarga.
- 10 Se dibujará además, un croquis de la estación en planta abarcando a lo menos 200 mt. aguas arriba y 200 mt. aguas abajo de la sección de aforos, en el cual se indicará claramente todo accidente geográfico natural o artificial y singularidades del tramo, como: la ubicación de P. R., las instalaciones de la estación fluviométrica, muros, puentes, cambios de dirección de las aguas, curvas, brazos, rocas en el centro y orillas del río, vegetación, etc., que permita entregar una idea lo más precisa posible de las características del escurrimiento. Debe indicarse las relaciones de distancias entre dichos puntos.

Las dimensiones del papel serán de 20 x 31 cm. más margen de 1 cm. por lado y 1.5 cm. para archivar (en carpeta de curvas). Debe venir enmarcado con carátula en el extremo inferior derecho.

Lo ideal, es hacer un levantamiento taquimétrico completo

2.5

BITACORA DE ESTACIONES

2.5.1

FUNCIONES

Registrar en forma sistemática los eventos acontecidos en cada estación y que afecten la calidad ó la continuidad de los parámetros registrados, y en especial a la estabilidad de la relación funcional de las curvas de descarga.

La bitácora permite tener todos los eventos en forma ordenada, y codificada para el diseño de las curvas de descarga y para su ingreso al sistema computacional.

Estos eventos se desprenden del análisis previo y completo de toda la información, indicada en los puntos precedentes.

2.5.2

EVENTOS

El llenado del formulario A-4 "BITACORA DE ESTACIONES" se debe efectuar en el proceso de análisis de la información básica: alturas limnimétricas, alturas limnigráficas, aforos, y los informes de terreno.

Deben registrarse todos los eventos ocurridos en la estación, entre los cuales se consideran:

- Instalación de la estación
- Comienzo y término de registros
- Traspaso del control de la estación

- Reparaciones y trabajos en la estación
- Suspensión de la estación
- Supresión de la estación
- Destrucción de la estación
- Instalación y cambios de instrumentos
- Períodos de información dudosa
- Períodos de información corregida
- Períodos sin información
- Causas de interrupción de registros
- Embanques
- Cambios de sección y/o ubicación de la estación
- Cambios de ubicación del carro de aforo
- Cambios de origen y/o ubicación del limnímetro
- Grandes crecidas
- Todas las causas por las cuales no hay registro de limnigramas: detenciones, atrasos, adelantos del reloj, cable fuera de polea, y diversas fallas del limnógrafo.
- Etc.

En este mismo formulario se indican los parámetros que a juicio del personal técnico que realiza el análisis de la información, se verán afectados por el evento. A continuación se muestra la nómina de parámetros con sus respectivos códigos.

DESCRIPCION O NOMBRE DEL PARAMETRO		U. DE
CODIGO	METODO DE MEDICION	MEDIDA
0010	ALTURAS LIMNIMETRICAS LECTURA EN REGLA GRADUADA U OTRO	METROS
0015	ALTURAS LIMNIGRAFICAS REGISTRO CONTINUO O SEMI-CONTINUO DE ALT. DE AGUA	METROS
0020	AFOROS CON MOLINETE CUALQUIER TIPO DE AFORO DETALLADO CON MOLINETE	M3/S
0022	AFOROS VOLUMETRICOS MEDICION DIRECTA DE VOLUMEN POR UNIDAD DE TIEMPO	M3/S
0023	AFOROS CON VERTEDERO MEDICION DE ALT. Y RELAC. Q-H VERTEDERO	M3/S
0024	AFOROS CON MEDIDOR VENTURI MEDICION DE ALTURA Y RELACION Q-H MEDIDOR	M3/S
0025	AFOROS CON DILUCION SALINA DILUCION SALINA U OTRO NO RADIOACTIVO	M3/S
0026	AFOROS CON RADIOISOTOPOS INTRODUCCION DE RADIOISOTOPOS EN LA CORRIENTE	M3/S
0027	AFOROS ESTIMADOS O CON METODOS APROXIMADOS FLOTADOR U OTRO METODO APROXIMADO	M3/S
0028	GASTOS DE LIMNIMETRO Y CURVA DE DESCARGA CALCULO CON CURVA DE DESCARGA EN OFICINA	M3/S
0029	GASTOS DE LIMNIGRAFO Y CURVA DE DESCARGA CALCULO CON CURVA DE DESCARGA EN OFICINA	M3/S
0030	GASTOS SEGUN ENERGIA GENERADA CON TURBINA CALCULO A PARTIR DE ENERGIA GENERADA CON TURBINA	M3/S
0031	GASTOS DE TURBINA SEGUN METODO WINTER-KENNEDY CALCULO CON METODO WINTER-KENNEDY	M3/S
0032	GASTOS OBTENIDOS POR ECUACION DE BALANCE CALCULO A PARTIR DE BALANCE HIDRICO	M3/S
0040	CURVAS DE DESCARGA TRAZADO CURVA DE DESCARGA SEGUN AFOROS Y/O TEORIA	M-M3/S

ESTACION

HOYA

DIA	MES	AÑO

[illegible]

El tema de las curvas de descarga se encuentra en el capítulo 6.3 de las Normas Hidrométricas, por lo tanto para efecto de este apunte, sólo se verá la parte práctica, y algunos conceptos que se deben tener en presente.

3.1

ESCALAS

Es conveniente elegir escalas adecuadas para no distorsionar la apreciación visual y a la vez dar una buena exactitud al trazado de la curva.

Para seleccionar la escala deben considerarse tres aspectos dentro del período a analizar:

- Rango de alturas y caudales de aforos.
- Rango de alturas registradas.
- Rango de alturas no registradas y caudales medidos indirectamente (si los hubiere).

Si las alturas extremas del nivel de agua son mucho mayor que las alturas extremas de los aforos, conviene analizarla por partes, una a menor escala sólo considerando el rango de aforo y otra a mayor escala considerando todo el rango de alturas.

De preferencia, de acuerdo a experiencia, se usarán las siguientes escalas:

Para Alturas:

Escala (cm papel : cm limnómetro)	Rango de alturas en papel C-2 (en mts.)
1 : 5	0 - 1.50
1 : 10	0 - 3.00
1 : 20	0 - 6.00
1 : 50 sólo caso especial	0 - 15.00

Para caudales:

Escala (cm papel : m3/seg.)	Rango de Caudales en papel C-2 (m3/seg.)
1 : 1	0 - 40
1 : 2	0 - 80
1 : 5	0 - 200
1 : 10	0 - 400
1 : 20	0 - 800
1 : 50	0 - 2.000
1 : 100	0 - 4.000
1 : 200	0 - 8.000
1 : 500	0 - 15.000
2 : 1 sólo caso especial	0 - 20
5 : 1 sólo caso especial	0 - 8
10 : 1 sólo caso especial	0 - 4
20 : 1 sólo caso especial	0 - 2

Para ello se utilizará papeles milimetrados, diseñados especialmente para tal efecto:

Hoja	C-1	19 x 30 cms.	para curvas individuales
Hoja	C-2	30 x 40 cms.	para curvas individuales
Hoja	C-3	30 x 40 cms.	para familia de curvas

Una vez seleccionadas las escalas a utilizar para alturas (H) y caudales (Q), se procede a ubicar los aforos con su respectiva numeración. Esto a pesar de parecer ser muy sencillo, se requiere un cuidado especial, pues es muy fácil equivocarse, y por lo tanto, alterar el trazado o hacer una mala interpretación de los aforos dispersos.

Se distinguen dos casos:

- 1 Cuando se elabora por primera vez, la curva de descarga. Este caso es más complejo, pues no hay tendencias definidas a seguir. Es necesario primero formar grupos de aforos, con valideces predefinidas por algún evento importante en la estación, como una crecida, cambio de limnómetro, etc., luego se procede a dibujar las coordenadas H/Q y a re-estudiarlos.
- 2 Cuando se agregan a una curva de descarga ya definida. Este caso es mucho más fácil, pues a la curva ya definida, se agrega los nuevos aforos, e inmediatamente se aprecia, si forman parte de ella o se inicia una nueva curva.

En esta parte, simplemente debe seguirse la numeración de aforos, esto permite verificar si los aforos corresponden a una misma curva de descarga. Trazando una curva parabólica en forma provisoria. Esto se hace para cada grupo de aforos. La información analizada previamente, permite deducir los lineamientos generales de la curva de descarga; si hay curvas paralelas, si hay curvas con igual tendencia, etc.

Para dicho seguimiento, se debe tener presente, la forma de la sección de aforos, que determinará la curva de descarga y posibles puntos de inflexión cuando hay secciones compuestas.

3.4 VALIDEZ DE LA CURVA

A continuación se verán algunas consideraciones generales que es necesario tener presente:

A Permanencia del lecho

Una estación de aforos debe estar en un lugar en que el lecho sea permanente o dicha permanencia sea creada artificialmente. Un suelo rocoso, un banco de grava de gran tamaño, una barrera artificial, pueden crear un cambio de pendiente o al menos una singularidad que da origen a una relación más o menos estable entre caudal y altura (Q vs H).

En ausencia de una singularidad, un sector de gran longitud del cauce podría tener características geométricas e hidráulicas que favorezcan una curva de descarga más permanente.

Una sección de aforos es permanente, si se mantienen sus características físicas y su comportamiento para todas las

alturas de agua. Lo anterior significa que sus dimensiones geométricas, incluso de los sectores vecinos no cambian (no habrá cambios por erosión o depósitos) ni quedará ahogado por efecto de aguas abajo en caso de crecidas.

B Una buena Estación

También es necesario tener presente las características de una buena estación fluviométrica:

- 1 La estación de control debe ser estable cualquiera que sea el caudal.
- 2 Debe tener la menor influencia posible de aguas abajo para caudales altos.
- 3 El limnómetro debe estar colocado en la sección de aforo, o en último caso lo más cerca posible de ella, debiendo tener la sección características permanentes. La curva de descarga así determinada, será poco alterada por eventuales modificaciones ocurridas en el lecho del cauce entre la sección de control y el limnómetro.
- 4 La sección de aforos en lo posible debe permitir la ejecución aforos en crecidas y en estiaje. Las velocidades deben ser moderadamente fuertes de manera de tener una buena exactitud en su medida con el molinete.

C Influencia de la erosión, depósitos y vegetación acuática

El efecto de los cambios en el fondo del cauce son más notorios en los caudales pequeños, que en los caudales altos. A menudo los cambios en el trazado de la curva de descarga para

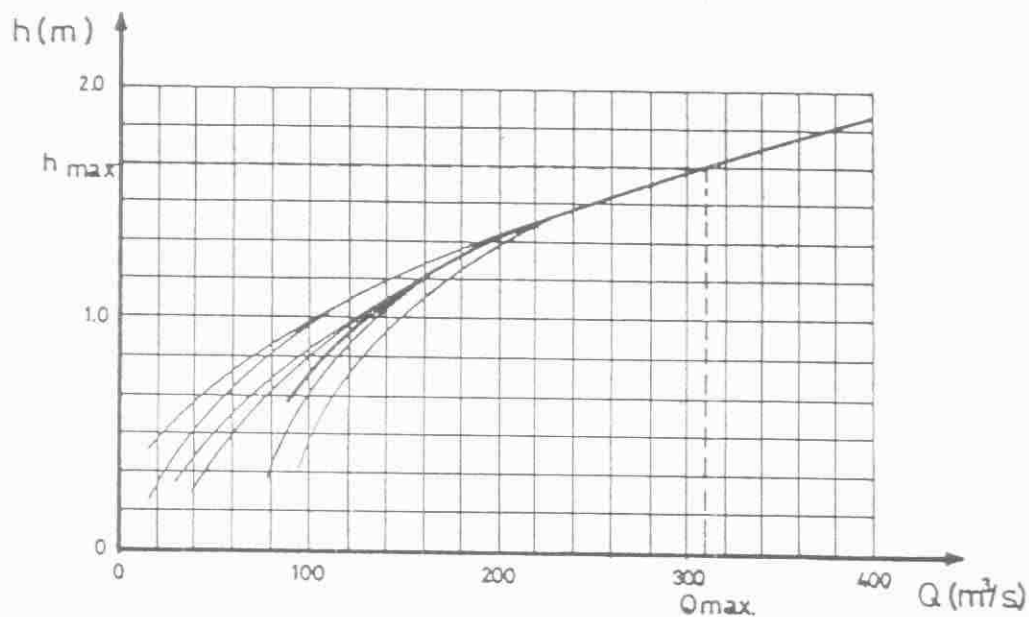
valores altos son insignificativos, siendo más permanente, en atención a que está determinada por condiciones de aguas abajo y poco influenciada por la erosión. Para que la curva de descarga al cambiar fuera paralela a la curva anterior, la sección de control tendría que encontrarse en un sector del cauce de gran longitud y el lecho se hubiese erosionado en forma casi uniforme a lo ancho y largo del cauce. Lo anterior es muy difícil que ocurra. Debido a esto es posible definir las tendencias en la parte alta y realizar un trazado común para los caudales máximos, en cada familia de curvas.

El depósito de material o relleno pueden modificar la curva de descarga en un sentido que es relativamente fácil de prever, en la parte media a inferior de ella.

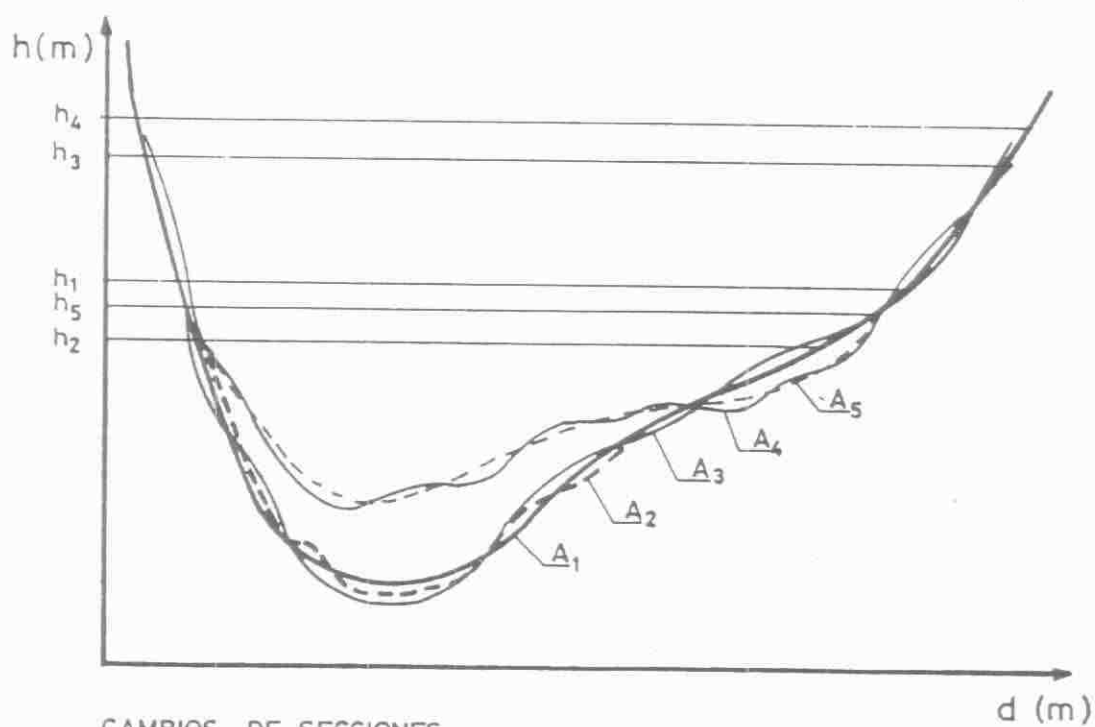
En algunos casos el desarrollo y degradación de la vegetación acuática del lecho y de las riberas, produce en la sección de control un efecto similar a los depósitos y esto puede tener una importancia grande en cauces de poca profundidad y poca pendiente.

En resumen, un cambio de validez de una curva de descarga puede ser producido por:

- Embarque o depósito de material
- Socavación o erosión
- Cambio de curso del río.
- Cambio del limnómetro.
- Cambio de la forma de sección, por efecto de construcciones o reparaciones.
- Cambio por rotura del fondo o paredes (ya sea natural o revestida).
- Crecimiento o degradación de plantas acuáticas.
- Alteraciones aguas arriba o aguas abajo de la sección, etc.



FORMA DE LA CURVA DE DESCARGA



CAMBIOS DE SECCIONES

CAMBIOS DE SECCION A PARTIR DEL AFORO A_4 INCLUSIVE O ENTRE EL AFORO A_3 y A_4

En general el trazado y estudio de las curvas de descarga, debe ser hecho por personal con suficiente experiencia y criterio en la materia, pues de otra manera se está expuesto a cometer errores importantes en el cálculo de los caudales.

Se llama trazado preliminar, al trazado inicial, de una curva de descarga el que podría ser modificado al analizar la familia de curvas con una visión conjunta de las extrapolaciones de la parte alta de todas las curvas de descarga que la integran.

Generalmente, queda bien definido el trazado de la parte baja de la curva, ya que en ella está la mayoría de los aforos.

Siempre es posible ajustar a una o más ecuaciones la curva de descarga definida por los aforos. Estas ecuaciones, serán útiles para extrapolar la curva de descarga. La ecuación más utilizada es del tipo parabólico, de la forma:

$$Q = Q_0 (H - H_0)^n$$

Se considera como aforos dispersos a aquellos que tienen una variación de más de un 5% del caudal con respecto a la curva de descarga.

Estos aforos necesitan un análisis más exhaustivo, a fin de determinar las razones de su dispersión y su posible corrección.

Deberá analizarse los siguientes aspectos:

- Si se realizó en el lugar habitual.
- Velocidades y áreas.
Para ello es necesario recurrir a la ayuda de graficos H/V y H/A, Que además servirá de método de extrapolación de la parte alta, se dibujarán los aforos buenos que serán representativos de todo el rango medido de caudales y todos los aforos dispersos. Se apreciará si su dispersión es por el área o la velocidad.
- Se compararán los perfiles de los aforos entre sí con los perfiles topográficos si los hay, podrá determinarse posibles embanques o errores y malas medidas en su profundidad.
- Se debe revisar la altura limnimétrica del aforo y su relación con los limnigramas.
- Si su ejecución ha estado correcta en los tiempos, vueltas, profundidades, abscisas, etc.
- Tipo y estado del molinete, su tara y ecuación.
- Si está bien dibujado en la curva.
- Si está bien calculado.
- Si cumple normas de número de puntos por abscisa, porcentaje de caudal por abscisa.
- Problemas en la estación: rotura, rocas o grandes piedras bancos de arena, ramas, etc.

- Angulo de arrastre importante y no considerado.
- Flujo desviado de la normal a la sección transversal donde se efectuó el aforo.
- Problemas aguas arriba o aguas abajo que alteran los valores, etc.

Si un aforo persiste un su valor errado, a pesar de haber cumplido bien en todas las revisiones, no deberá considerarse para el trazado de la curva de descarga. En este caso, probablemente el molinete no está funcionando correctamente

3.7 EXTRAPOLACION DE LA PARTE ALTA DE LA CURVA DE DESCARGA.

Los métodos más conocidos para la extrapolación de la parte alta de las curvas de descarga son:

- 1 Extrapolación Gráfica
- 2 Area-Velocidad Media
- 3 Chezy o Stevens
- 4 Manning
- 5 Logarítmico
- 6 Analítico con ecuación de segundo grado
- 7 Luna y Maddock
- 8 Leach
- 9 Para canales
- 10 Para vertederos
- 11 Para medidor Venturi o Parshal

Siempre será necesario aplicar a lo menos dos métodos de extrapolaciones, seleccionados de acuerdo a los antecedentes

que se tienen y según las características de la sección en estudio.

3.7.1 EXTRAPOLACION GRAFICA

Este es un método sólo de referencia, pues su uso solamente se justifica como una primera aproximación del dato que se quiere conocer y siempre deberá confirmarse posteriormente por otros métodos, en especial si los valores de caudales son muy altos. Sin embargo, da una suficiente aproximación cuando los caudales a extrapolar no sobrepasen el 25% del valor del último aforo que define la curva de descarga.

3.7.2 AREA-VELOCIDAD MEDIA

El gasto está expresado por la ecuación:

$$Q = A \times V$$

Siendo A la superficie encerrada por el perfil característico de la sección limnimétrica para una altura de agua determinada, y V la velocidad media del agua para esa misma altura.

Si se tiene el perfil de la sección limnimétrica será muy fácil determinar una curva de variación del área con respecto a la altura de agua obteniendo una curva cóncava. Al mismo tiempo, de todos los aforos de la sección puede determinarse la velocidad media del agua:

3.7.3

METODO DE CHEZY O STEVENS

Este método se utiliza para ríos relativamente anchos y poco profundos, es una modificación de la fórmula de Chezy para canales abiertos en que el gasto queda expresado por:

$$Q = C \times A (I R)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Chezy})$$

en que:

A = área de escurrimiento en m²

I = pendiente eje hidráulico

R = Radio hidráulico en mts., que para cauces anchos y poco profundos se reemplaza por la profundidad media.

$$R = H = A/a$$

cuando $a > 20H$

b = profundidad media del río

a = ancho del río en la superficie del agua.

C = constante de Chezy, que depende de la rugosidad del lecho.

Luego queda:

$$Q = C \times (I)^{\frac{1}{2}} \times A (H)^{\frac{1}{2}}$$

Lo mismo que en la fórmula de Manning el factor hidráulico $C (I)^{\frac{1}{2}}$ para valores del limnómetro tiende a hacerse constante y por consiguiente si se lleva a un gráfico los valores Q v/s los valores de $A (H)^{\frac{1}{2}}$ dará una recta que pasará por el origen. El valor $A (H)^{\frac{1}{2}}$ dependerá de las características geométricas de la sección.

Para aplicar este método se construyen los gráficos de la figura N°2.

Aunque la fórmula de Manning está deducida para canales, sirve para analizar las cualidades hidráulicas y geométricas de los aforos realizados. Además, cuando se tiene una creciente, es decir, una lámina de agua gruesa, la pendiente del eje hidráulico toma un valor promedio pasando por alto las pequeñas variaciones en pendientes del lecho. Por esto las fórmulas para canales abiertos pueden aplicarse a cauces naturales, con mayor seguridad a los estados altos que a los bajos, pues estos últimos quedan notoriamente influenciados por las condiciones del lecho.

El gasto Q queda dado por la expresión:

$$Q = A R^{2/3} \times (I)^{1/2} / n$$

A = área de la sección mojada

R = radio hidráulico

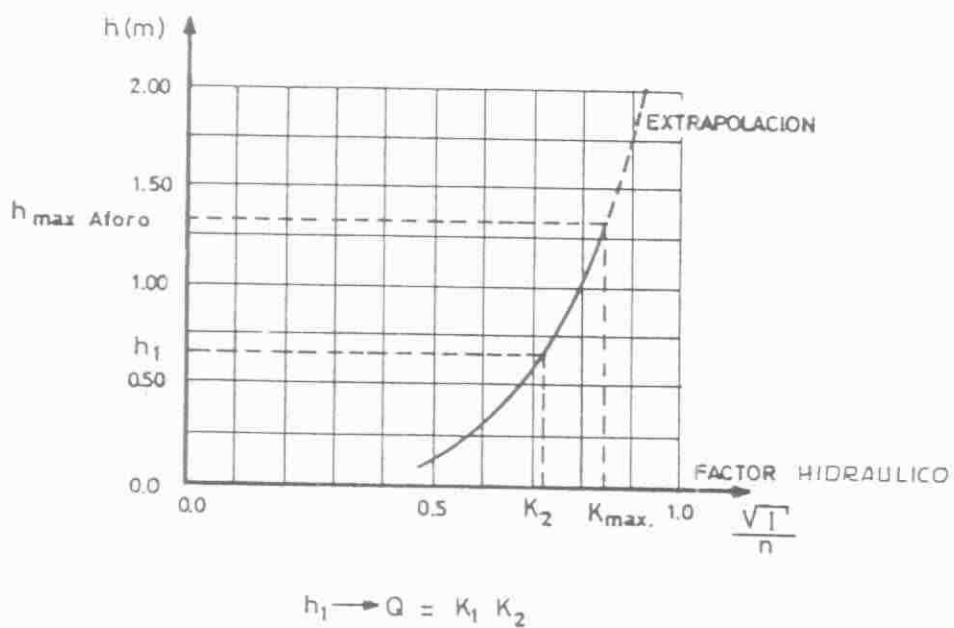
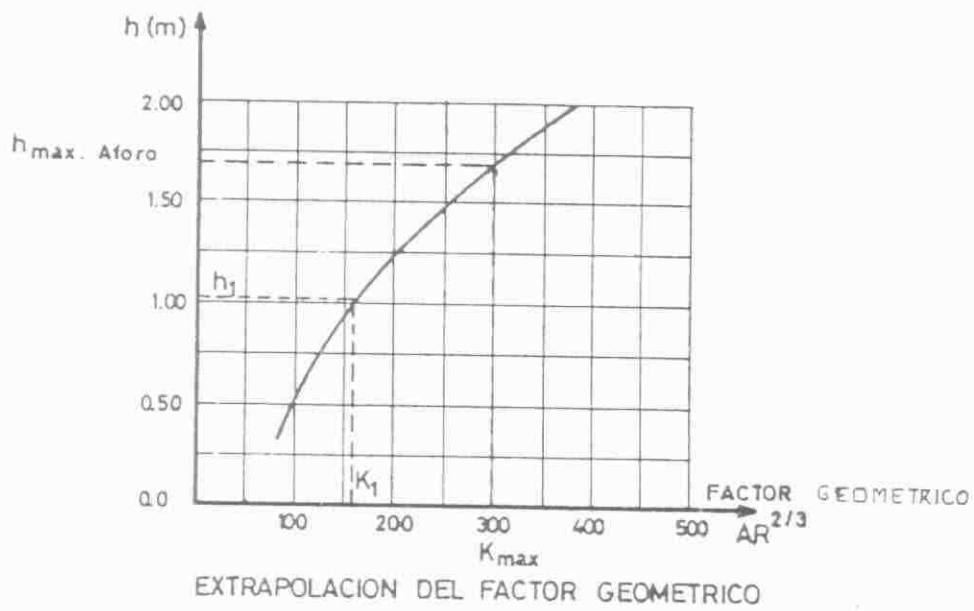
P = perímetro mojado

I = pendiente eje hidráulico

n = constante de Manning depende de la rugosidad del lecho.

El término $A R^{2/3}$ depende sólo de las características geométricas de la sección y mediante el correspondiente perfil de la sección puede conocerse para cualquier nivel de agua. Este término se llama **FACTOR GEOMETRICO (FG)**. Se puede verificar también para cada aforo según las medidas directas que se hayan tomado. Luego se construye una curva H v/s FG llevando alturas de aguas en ordenadas y el término $A R^{2/3}$ en abscisas (FG). (Figura N°3)

El término $(I)^{1/2} / n$ se le llama **FACTOR HIDRAULICO (FH)**, pues



EXTRAPOLACION DEL FACTOR HIDRAULICO

APLICACION DE LA FORMULA DE MANNING

considera la rugosidad del lecho y la pendiente del eje hidráulico. Este término tiende a un valor constante para niveles altos del río. Se puede trazar la curva H v/s FH llevando las alturas de aguas en ordenadas y el término $(I)^{4/n}$ en abscisas (FH). (Figura N°4)

Con estas curvas se pueden determinar los gastos para aquellas alturas de agua en que no hay aforos.

Al haber un cambio, ya sea en el factor geométrico o hidráulico, éste queda claramente reflejado en los gráficos antes mencionados, mediante un desfase de las curvas respectivas.

La determinación de la curva analítica tiene un gran valor pues permite independizarse en gran parte del calculista.

La curva de descarga puede quedar representada por la siguiente ecuación:

$$Q = Q_0 (H - H_0)^n$$

donde:

Q = caudal en m³/seg

H = nivel de agua leído en la escala

Q₀ = caudal del río cuando H - H₀ = 1

H₀ = altura limnimétrica cuando Q = 0

n = constante que depende de la sección

Aplicando logaritmos a la ecuación anterior:

$$\text{Log } Q = \text{Log } Q_0 + n \text{ Log } (H - H_0)$$

Se ve claramente que a escala Log-Log esta es la ecuación de una recta referida a los ejes coordenados Log (H - H₀) y Log Q. De esta recta, se toman 2 puntos Q_a y Q_b, y se llega a:

$$n = \frac{\text{Log } Q_b - \text{Log } Q_a}{\text{Log } (H_b - H_0) - \text{Log } (H_a - H_0)}$$

El valor de H₀, como ya se ha dicho representa la altura para la cual el caudal es nulo, pudiendo ser positiva o negativa, según la escala esté en la posición 1 o 2 de la figura N°4. Muchas veces las investigaciones de terreno ayudan a fijar este valor de H₀, mediante un perfil longitudinal del lecho.

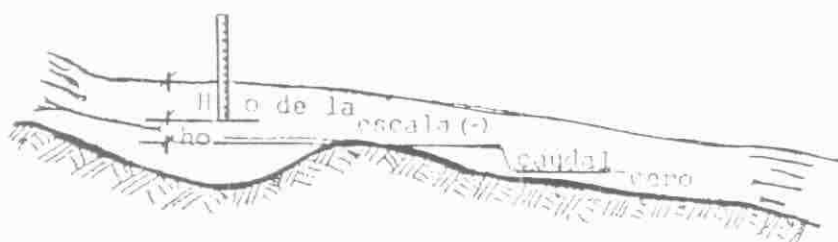
De lo anteriormente expresado se deduce la importancia que aguas abajo de la sección exista un buen control estabilizado para que no cambie el H_0 y así permanezca inalterable la expresión analítica de la curva de descarga.

Otras formas de obtener el valor de H_0 es por tanteo, que generalmente es lo más usado .

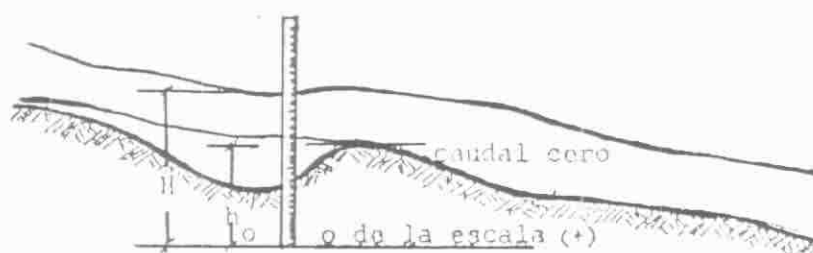
Para ello se coloca en un gráfico de escala log-log el valor de $H - H_0$ y en abscisas el valor de Q , el valor de H_0 se disminuye o aumenta dependiendo del tipo de concavidad de la curva resultante, hasta lograr que los puntos queden alineados.

OBTENCION DE LA H_0 POR EL PERFIL LONGITUDINAL

Caso 1



Caso 2



Determinación de la constante h_0 a partir del perfil longitudinal.

OBTENCION DE H_0 POR TANTEO

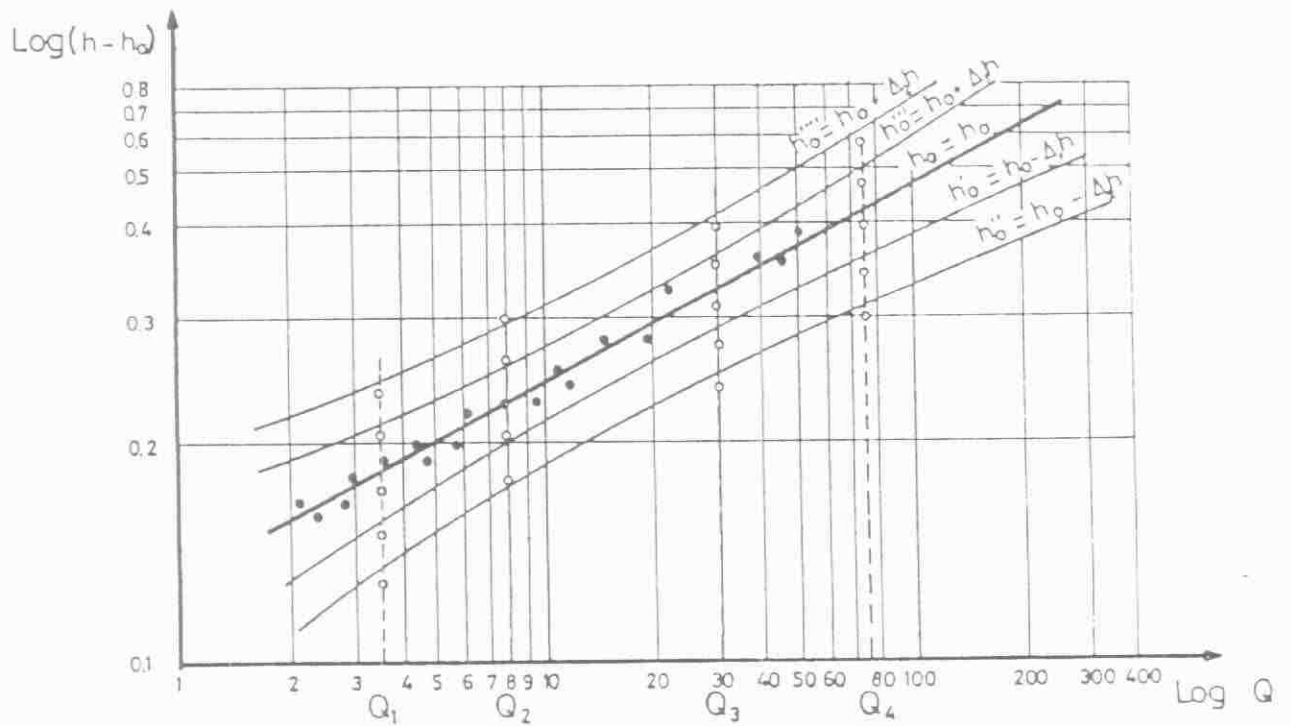
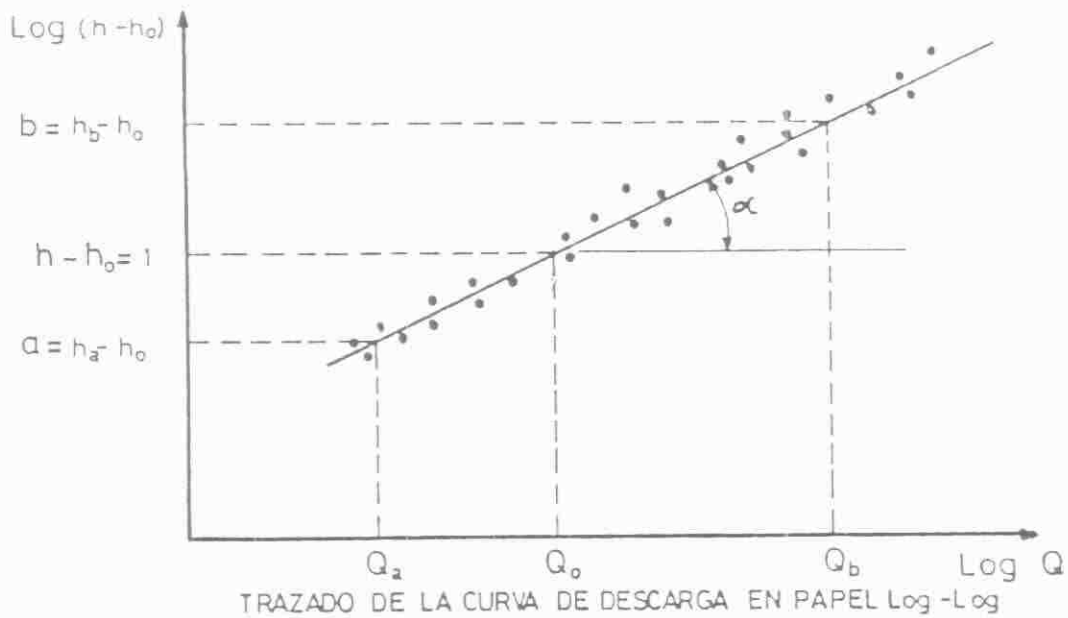
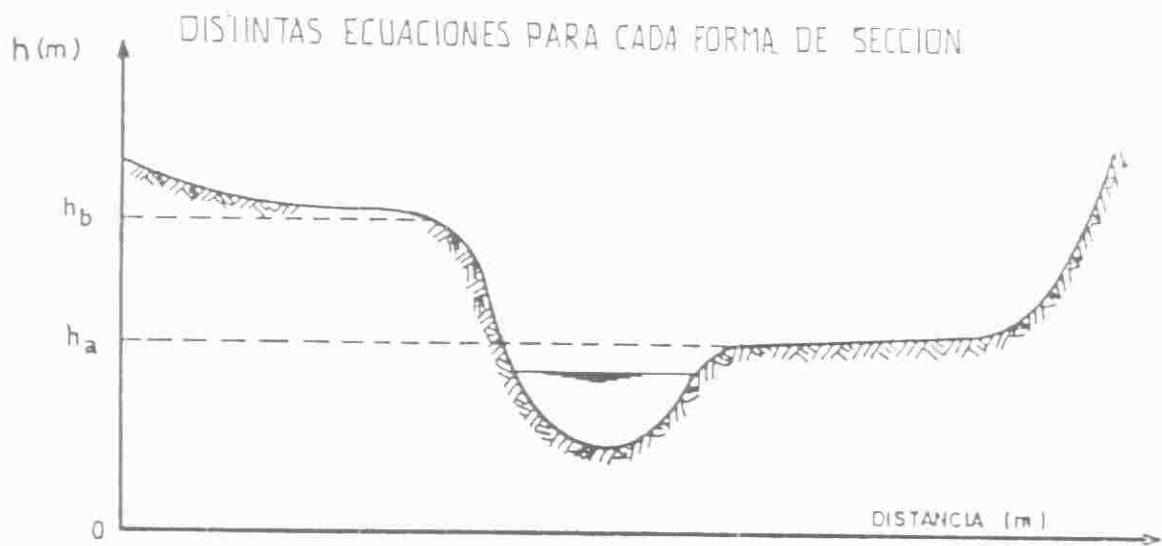
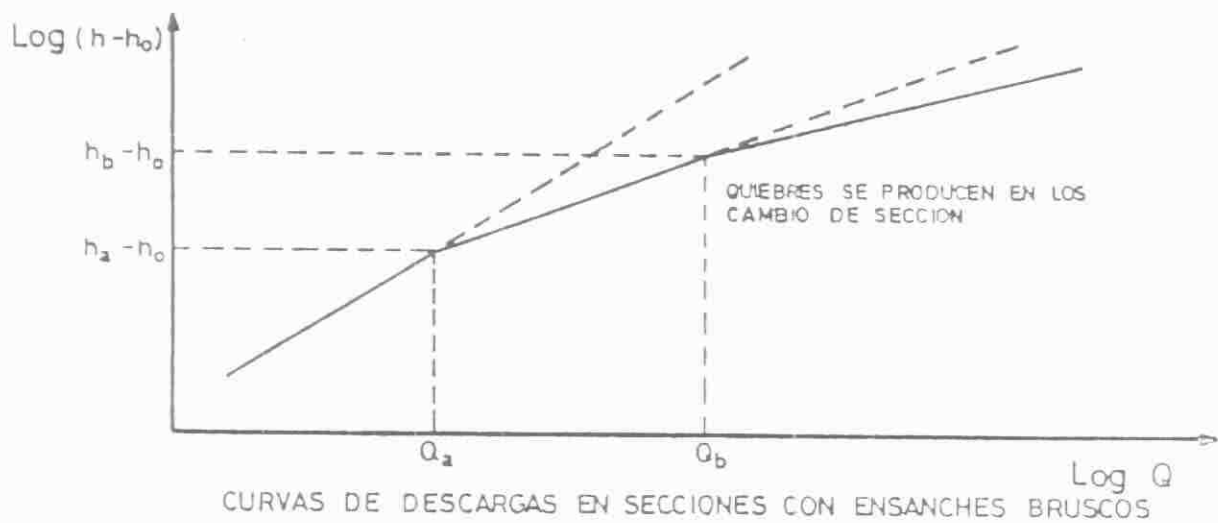
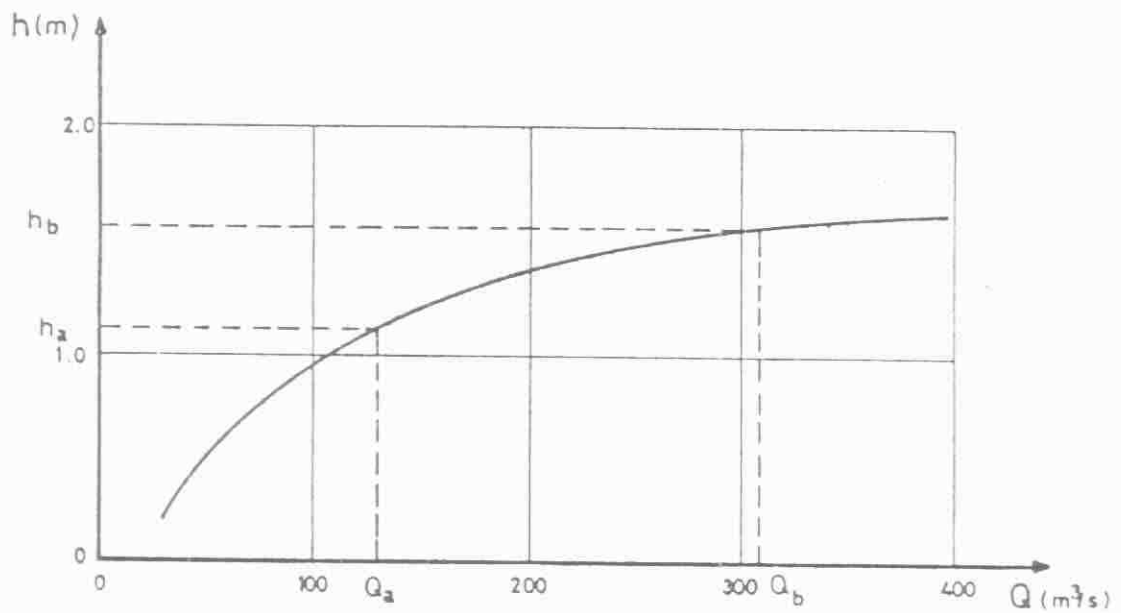


fig. N° 4



SECCION TRANSVERSAL COMPUESTA DE UN RIO



3.7.6

METODO ANALITICO POR ECUACION DE 2º GRADO COMPLETA.

En algunos casos la curva de descarga queda mejor representada por una ecuación de 2º grado completa:

$$Q = a + b H + c H^2$$

Siendo:

Q = el gasto
H = lectura limnimétrica
a, b, c = constantes a determinar

Para determinar las constantes a, b, y c, se aplica la ecuación para cada aforo o medida, dando tantas ecuaciones como medidas hayan:

$$\begin{aligned} Q_1 &= a + b H_1 + c H_1^2 \\ Q_n &= a + b H_n + c H_n^2 \end{aligned}$$

Sistema, que se resuelve por ecuaciones normales de Gauss que en su forma general quedan expresadas por:

$$\begin{aligned} Z(Q) &= a n + b Z(H) + c Z(H^2) \\ Z(QH) &= a Z(H) + b Z(H^2) + c Z(H^3) \\ Z(QH^2) &= a Z(H^2) + b Z(H^3) + c Z(H^4) \end{aligned}$$

Donde : Z= sumatoria n= cantidad de aforos considerados
Luego :

Se reducen los términos y se despeja en la primera ecuación, se reemplaza en las siguientes y se resuelve el sistema de dos ecuaciones determinando así las constantes b y c

El método de Luna y Maddock está basado en la relación que existe entre el caudal que pasa por un cauce y la velocidad media, el ancho y la profundidad media.

Relación que se expresa en la siguiente ecuación:

$$Q = W \times D \times V$$

donde

$$W = aQ^m \text{ (m) ancho del río}$$

$$D = bQ^n \text{ (m) profundidad media}$$

$$V = cQ^p \text{ (m) velocidad media}$$

Reemplazando V , W , D se llega a la ecuación indicada anteriormente.

$$Q = aQ^m \times bQ^n \times cQ^p$$

para que esta ecuación se cumpla se requiere que:

$$a \times b \times c = 1$$

y

$$m + n + p = 1$$

El procedimiento que se debe seguir para trazar las curvas es el siguiente:

- 1 W , D , V son datos de los aforos a considerar en la sección.
- 2 Estos datos se llevan a un papel doble logarítmico para W v/s Q , D v/s Q y V v/s Q . (Figura N°5). Es lógico que para cada gasto existe un ancho, una profundidad y una

velocidad. El trazado de las curvas debe hacerse, en forma tal que se ajuste al mayor número de puntos posibles.

- 3 Se calculan las pendientes m , n , y p , indica como se calculan las pendiente a partir de los gráficos de las curvas antes citadas. Se comprueba que $m + n + p = 1$.

Los valores de estos parámetros se obtienen de los gráficos mediante el cálculo de las inclinaciones correspondientes.

Si esta suma se cumple las curvas están correctas, si no, se deben hacer ajustes sucesivos, variando un poco las pendientes de las rectas.

- 4 Se calculan las constantes a , b y c gráficamente, dándole a la descarga (Q) el valor de uno.

Estos parámetros pueden obtenerse directamente del gráfico ya que representan las ordenadas correspondientes al valor $Q = 1$.

$$\begin{aligned}a &= W / Q^m \\b &= D / Q^n \\c &= V / Q^p\end{aligned}$$

Se comprueba que $a \times b \times c = 1$

Si esto sucede las gráficas están prácticamente determinadas. Si no se cumple, se desplazan las curvas, paralelamente hacia arriba o hacia abajo, según sea el caso. Se determinan nuevamente las constantes a , b y c en forma similar hasta que se cumpla la condición de $a \times b \times c = 1$.

METODO DE LUNA Y MADDOCK

W = ancho

D = profundidad media

V = velocidad media

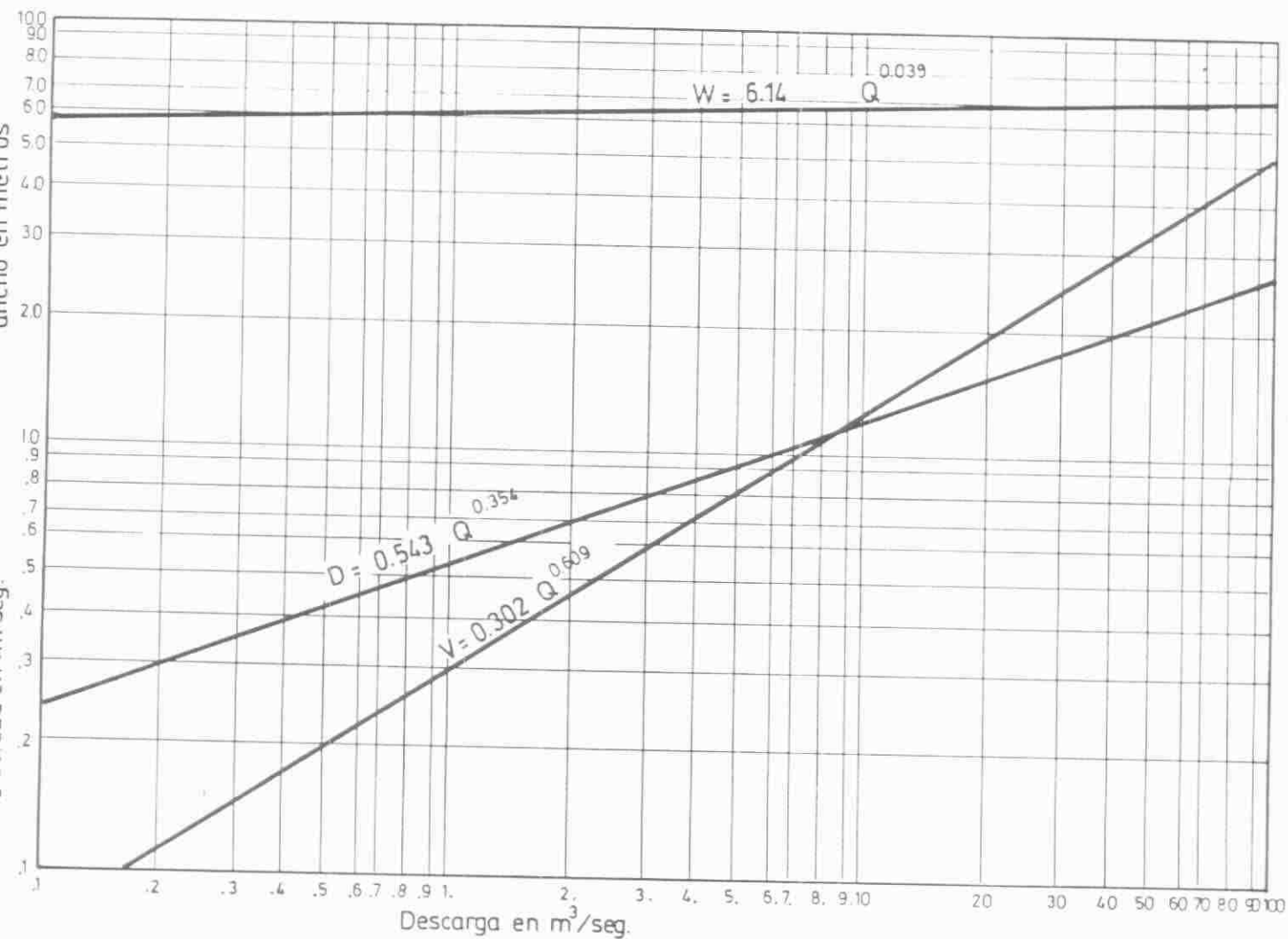
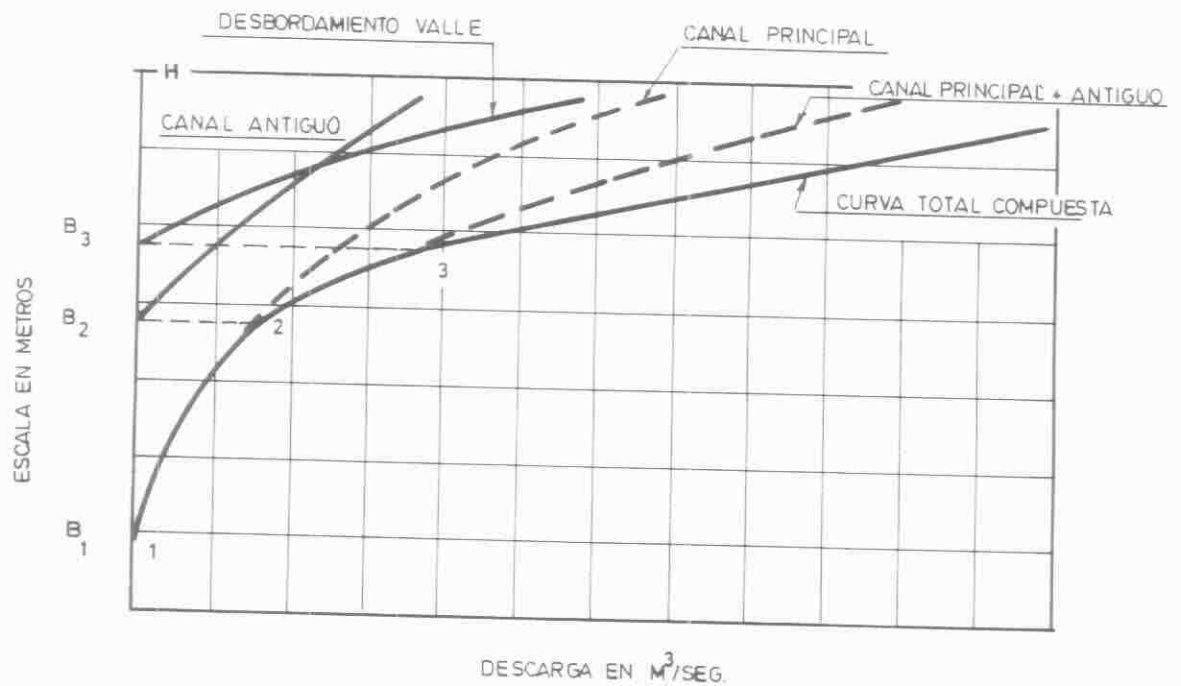
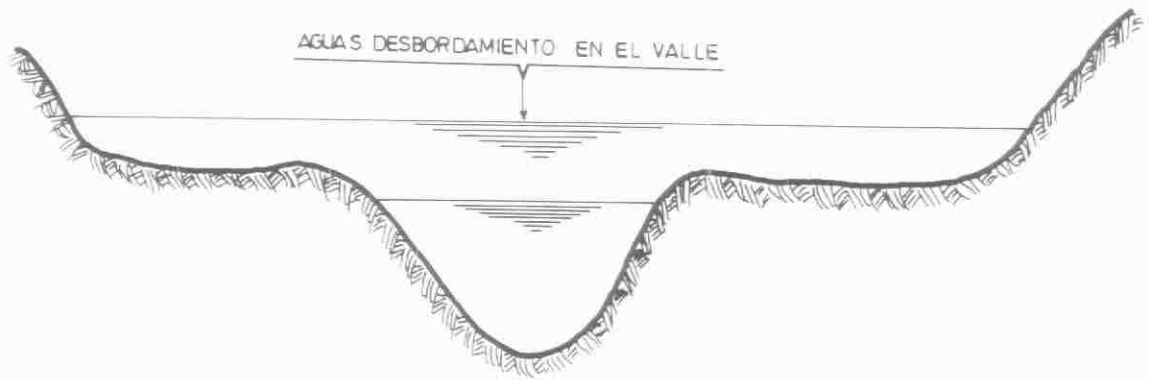


fig. N° 5

$$\begin{array}{ccccc} a & b & c & & \\ 6.140 & \times & 0.543 & \times & 0.300 = 1.006 \\ m & & n & & p \\ 0.039 & + & 0.354 & + & 0.609 = 1.002 \end{array}$$

SECCION COMPUESTA POR CAUCE PRINCIPAL Y ZONA DE INUNDACION



TRASADO DE UNA CURVA COMPUESTA
METODO DE LEACH

Cuando hay secciones con zona de inundaciones en crecidas, los cálculos para el cauce principal se deben hacer por separado de la zona inundada.

Al considerar la ecuación de Manning para el cauce desbordado, se tiene:

$$Q = \frac{A R^{2/3} I^{1/2}}{n}$$

se debe tener presente que la constante "n" es distinta para el cauce y para la parte inundada.

Los términos A , $(R)^{2/3}$ y n serán característicos y constantes para una altura determinada del nivel de agua.

Podemos escribir $Q = K (I)^{1/2}$

$$\text{en la cual } K = \frac{A (R)^{2/3}}{n}$$

El método de Leach se basa en calcular por separado las K para el canal principal y para la zona de desbordamiento. La suma de estos K para una determinada altura de agua es la que debe aplicarse para calcular el caudal Q conociendo la pendiente I , por medidas directas efectuadas en terreno de los aforos anteriores.

La exactitud de este método se basa en una selección

adecuada del coeficiente "n" y un levantamiento topográfico preciso del tramo del río, para calcular lo más exacto posible la pendiente del lecho. Para ello, es conveniente estacar las crecidas con el fin de obtener el eje hidráulico posteriormente a través de un levantamiento topográfico o bien instalando previamente limnómetros de crecida.

3.7.9 METODO PARA CANALES

Para extrapolar los valores del caudal dentro de la sección del canal, basta aplicar las fórmulas de escurrimiento uniforme.

La más utilizada es la de Manning

Es necesario determinar en terreno la pendiente I y la constante n de rugosidad de la sección. También puede extrapolarse a partir de gráficos H v/s FG y H v/s FH .

3.7.10 METODO PARA VERTEDEROS

Para este caso, se utiliza las ecuaciones teóricas de acuerdo a las características del vertedero. La curva de descarga resultante, basta que sea verificada por algunos aforos anuales, considerando que podría alterarse las características iniciales del vertedero con el tiempo.

Los vertederos son útiles para controlar caudales pequeños.

El más empleado en estaciones fluviométricas es el vertedero triangular, de napa libre con contracción lateral, pared delgada y vertical.

Para vertedero triangular de ángulo recto se tiene:

$$Q = 1.40 (H)^{5/2}$$

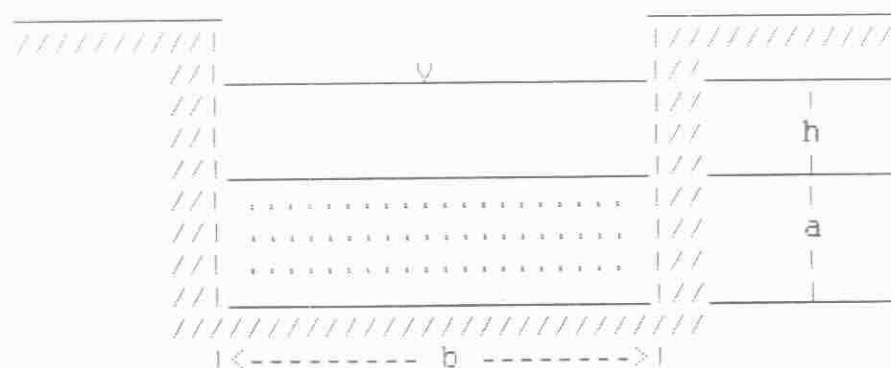
donde:

H = altura desde el vértice hasta el nivel de agua.

A continuación se verá los 3 tipos de vertederos más utilizados:

1 VERTEDERO DE REHBOK

Es un vertedero con napa libre sin contracción lateral, rectangular con pared delgada y vertical, con cuchillo en el umbral.



$$Q = 2.953 m b (h)^{3/2}$$

a) Según Frese:

$$m = \left(0.615 + \frac{2.1}{1000 h} \right) \left(1 + 0.55 \left(\frac{h^2}{h + a} \right) \right)$$

para : $0.1 < h < 0.6$

b) Según Asociación de Ingenieros y Arquitectos Suizos:

$$m = 0.615 + \frac{1}{1000} \frac{1}{h + 1.6} + 0.5 \frac{h}{h + a}$$

para : $h/a \leq 1.0$; $a \geq 0.3$ mt. ; $0.02 \leq h \leq 0.8$ mt.,

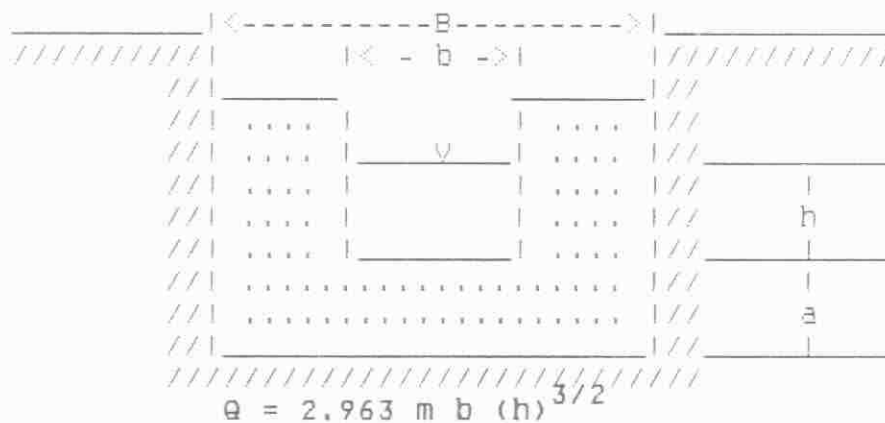
c) Según Rehbock

$$m = 0.605 + \frac{1}{1000} \frac{h}{h} + 0.08 \frac{h}{a}$$

para: $0.02 \leq h \leq 0.3$

2 VERTEDERO DE PONCELET

Es un vertedero con napa libre y contracción lateral en sección rectangular con pared delgada y vertical, con cuchillo en el umbral.



a) Según Frese

$$m = \left(0.5755 + \frac{0.017}{h+0.18} - \frac{0.075}{b+1.2} \right) \left(1 + \left(0.25 \left(\frac{h}{B} \right)^2 + 0.25 + \frac{0.0375}{h+a} \right) \left(\frac{h}{h+a} \right) \right)$$

b) Según A.I. y A.S.

$$m = 0.578 + 0.037 (b/B)^2 + \frac{3.615 - 3 (b/B)^2}{1000 h + 1.6} \quad 1 + 0.5 (b/B)^4 \frac{h}{h+a}^2$$

para : $a > 0.3 \text{ mt.}$

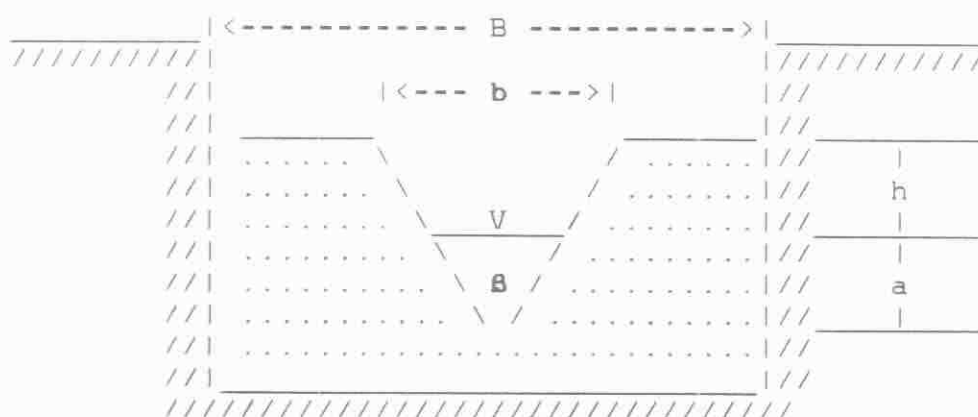
$b/B < h < 0.8 \text{ mt.}$

$h/a < 1.0$

$b/B > 0.3$

3 VERTEDERO DE THOMSON

Es un vertedero con napa libre y contracción lateral en sección triangular, con pared delgada y umbral vertical con cuchillo.



$$Q = \frac{8}{15} m Tg (B/2) (2g)^{1/2} (h)^{5/2}$$

Según Barr:

$$m = 0.565 + \frac{0.087}{(h)^{1/2}}$$

Para : $B > 8 h$

si : $\beta = 90^\circ$ se tiene $Q = 2.361 m (h)^{5/2}$

$\beta = 60^\circ$ se tiene $Q = 1.363 m (h)^{5/2}$

Este método es válido para cargas iguales o menores a $h + a$.

3.7.11 MEDIDOR VENTURI O PARSHALL

El Parshall crea un control artificial, introduciendo en el escurrimiento un resalte hidráulico que produce un régimen crítico, por medio de un estrechamiento en la garganta y una elevación en el piso. Para este caso se debe aplicar las ecuaciones y tablas que correspondan, según las características del Parshall.

3.8 EXTRAPOLACION DE LA PARTE BAJA DE LA CURVA DE DESCARGA.

Hay tres métodos más conocidos:

- 1 Método Gráfico
- 2 Método de Running
- 3 Método de Johnson.

3.8.1 METODO GRAFICO

Al igual que el caso de la parte alta, corresponde a una extensión gráfica, siguiendo la curvatura definida por los aforos. Debe tenerse presente, la forma de la sección, por medio de un perfil topográfico y/o de aforos. La altura limnimétrica "0.0" no necesariamente le corresponde un caudal cero, ya que este caudal está asociado a la altura limnimétrica correspondiente al punto más bajo del lecho. Es necesario

trazar con cuidado pues esta parte es muy sensible.

Este método da una buena aproximación para valores a extrapolar menores a un 25% con respecto al aforo menor que define la curva de descarga.

3.8.2 METODO DE RUNNING (Universidad de Michigan U.S.A.)

En este método para los valores mínimos, el problema se reduce a calcular el valor H_0 .

Se seleccionan tres valores de la curva de descarga de manera que sigan una progresión geométrica, por ejemplo 5, 15, 45, cumpliéndose:

$$(Q_3)^2 = Q_1 \times Q_2$$

Deben tomarse de la parte superior de la curva, intermedia e inferior, con el objeto de cubrir todos los estados del río.

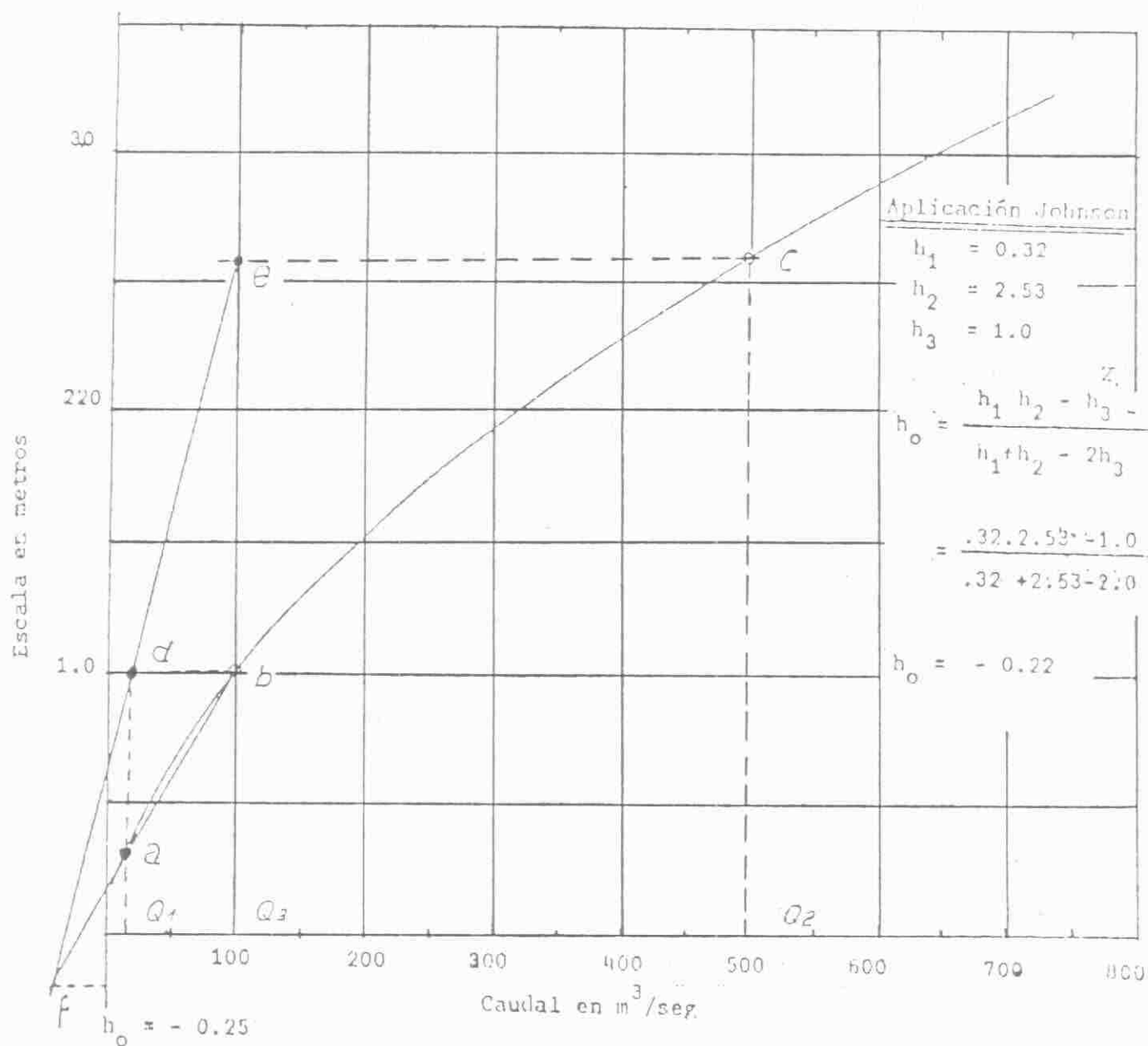
Por a y b se levantan verticales y por b y c , horizontales (ver Figura N°6), estas últimas cortan las verticales en los puntos d y e . Por d y e se traza una línea que intercepte la recta ab en el punto f . La elevación de este punto en escala de lectura limnimétrica, corresponde al valor de H_0 , para lo cual la descarga es nula.

3.8.3 METODO DE JOHNSON O GLUSHOV

Este método se deriva del anterior. Para la progresión geométrica de caudales se tiene:

$$(Q_3)^2 = Q_1 \times Q_2$$

y aplicando la ecuación de la curva de descarga para cada punto:



Determinación gráfica de h_o . Aplicando el método de Running

Aplicación del método de Johnson

fig. Nº 6

$$Q_i = Q_0 (H_i - H_0)^n$$

reemplazando y simplificando, se llega a:

$$H_0 = \frac{H_1 \times H_2 - H_3^2}{H_1 + H_2 - 2H_3}$$

H1, H2 y H3 alturas de 3 caudales de proyección geométrica, obtenidos de la curva de descarga medida.

3.9 FAMILIA DE CURVAS

La familia de curvas, se refiere a la agrupación de todas las curvas de descarga cuya tendencia general en la parte alta para todas es común.

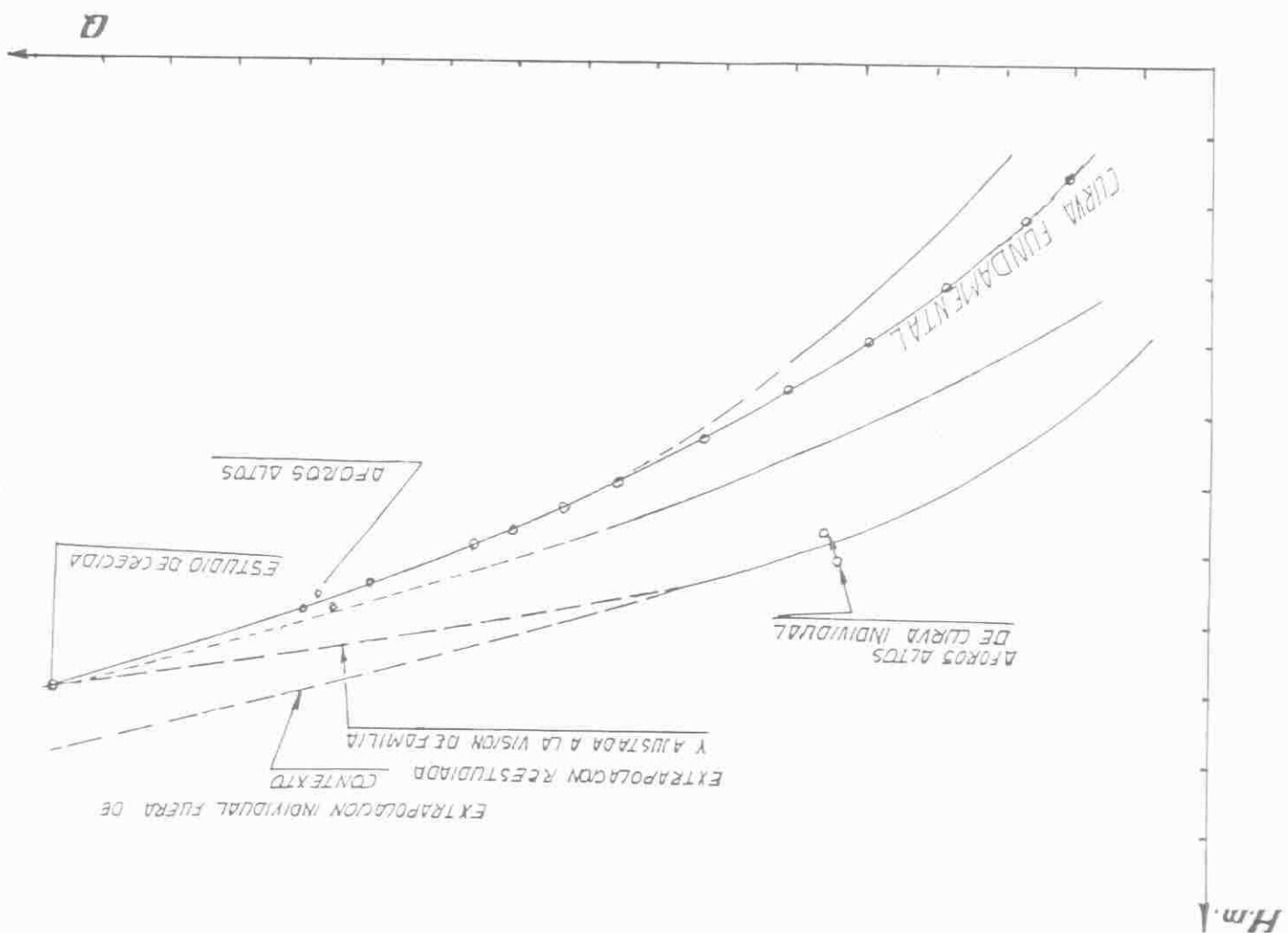
En una estación fluviométrica pueden darse una o más familias dependiendo de las características de los eventos ocurridos en ella.

3.10 CURVA FUNDAMENTAL

Se llama curva fundamental, a la parte alta de las curvas de descarga dentro de una familia, a la que deben converger, todas las curvas que la integran.

Para definir esta curva fundamental, debe realizarse un análisis exhaustivo de los aforos altos y de las extrapolaciones hechas por diversos métodos. (Figura N°7)

CURVA FUNDAMENTAL Y AJUSTE DE EXTRAPOLACIONES



UNA CURVA INDIVIDUAL FUERA DE LA VISION CONJUNTO DE LA FAMILIA DE CURVAS Y DE LA CURVA FUNDAMENTAL, ES SOLAMENTE UNA CURVA REFERENCIAL.

Una vez dibujada la familia de curvas, con todas las curvas preliminares indicadas en el punto 3.5 y definida la curva fundamental de la familia, es posible re-estudiar las extrapolaciones individuales de cada curva de descarga, conociendo la tendencia que debe seguir cada una de ellas al considerar no solo los aforos incluidos en el período de validez, y teniendo presente una visión conjunta de toda la familia de curvas de descarga.

Una vez definida las extrapolaciones individuales de cada curva y su trazado en la zona de los aforos se procede a dibujar cada curva con su trazado definitivo desde su altura mínima hasta la máxima registradas en su período de validez.

Es conveniente que los aforos se dibujen con un color distinto (por ejemplo, rojo) de la curva de descarga (por ejemplo, negro).

Por otra parte, no basta solo el trazado definitivo, sino que para su interpretación correcta, debe quedar por escrito todas las características más importantes que definieron cada curva individual, también es necesario una descripción completa del análisis de la parte alta de la familia de curvas con los detalles de las extrapolaciones.

El resumen del texto debe incluir:

- 2 Descripción general de las curvas "indicando criterios y métodos utilizados.

Se puede denominar como fundamental, a alguna curva individual que además de considerar lo indicado, este muy bien definida en su parte media y baja por aforos y tenga los registros de altura mayores dentro de la familia. La que es útil para orientar las tendencias de otras curvas cuyas alturas máximas no alcanzan o están lejos de llegar a los valores altos de la curva fundamental.

Es conveniente que cada curva se dibuje con distinto color, y con un trazo continuo en la zona definida por aforos y en trazo segmentado en la zona de extrapolaciones alta y baja.

- Definición de cada curva: consideraciones, deducciones y conclusiones.
- Un análisis completo y detallado de las extrapolaciones, de la familia de curvas y curvas fundamentales (si las hay).

3.13 TABULACION DE LA CURVA DE DESCARGA (Formulario F-3).

Va definido el trazado completo y definitivo con el texto interpretativo correspondiente, procede la tabulación de la curva de descarga, para esto se utiliza el formulario F-3, que además de incluir detalles de la curva y sus pares ordenados H y Q que la definen, sirve para ingresarlo al sistema computacional.

A continuación se da las instrucciones para el llenado del formulario F-3 de curvas de descarga.

3.13.1 INSTRUCCIONES DE LLENADO DEL FORMULARIO F-3 DE CURVAS DE DESCARGA

1 FUNCIONES

El formulario F-3 registra los resultados del análisis, trazado y extrapolación de una curva de descarga, para permitir su ingreso a los archivos computacionales del Banco Nacional de Aguas y facilitar su posterior utilización.

2 CONTENIDO

2.1 Encabezamiento del formulario:

- Código de la Estación: código BNA
- Rol de la Estación: rol actual en DGA
- Identificación de la curva: Las curvas de descarga se identificarán básicamente con una numeración progresiva de 10 en 10, y tendrán versión 1.
- Cota cero del Limnómetro: se anotará la cota que tiene el origen del limnómetro con respecto a un punto de referencia fijo, obtenido mediante una nivelación. Se expresará en metros con tres decimales. Cuando no exista la anterior, se dejará en blanco. Debe considerarse lo indicado, en las instrucciones generales de toma de perfiles transversales de las estaciones fluviométricas.
- Número de puntos que definen la curva: Se indicará el número de puntos en que se ha discretizado la curva de descarga, para su uso computacional, lo que podrá hacerse cada cinco cm. (o según como se necesite).
- Aforos que considera: Se indicará el número de orden del primer y último aforo incluidos en la curva de descarga.
- Período de validez: Se indicará la fecha de inicio y de término del período de validez de la curva de descarga. Debe tomarse la precaución de no traslapar los períodos de validez de diferentes curvas. En lo posible las fechas de validez, debieran delimitar períodos continuos.

- Extrapolada: Se indicarán los valores de las alturas sobre o bajo las cuales se ha extrapolado la curva de descarga, en metros con dos decimales (alturas extremas de los aforos que definen la curva).
- Técnicas de Extrapolación: Se marcará con "X" la técnica usada para extrapolar la parte alta de la curva de descarga. Se pondrán varias "X" si se usa más de una técnica de extrapolación. Si corresponde "otro", se describirá el método en el recuadro de observaciones.
- Fecha de Trazado: Fecha en que se efectúa el análisis de la curva de descarga.
- Responsable del Trazado: Nombre del Calculista.
- Responsable de la aprobación del trazado :Nombre del Jefe del Grupo y del Jefe de la Sección Fluviometría y/o Jefe subdepartamento de Hidrometría.

2.2 Cuerpo del Formulario:

- En el cuerpo del formulario se anotarán los puntos en que se discretizó la curva de descarga. Estos puntos se componen de un par ordenado altura (H) y caudal (Q).
- Los puntos se anotarán en orden creciente de alturas y caudales, verticalmente, a partir del primer par de columnas del costado izquierdo del formulario y ocupando, si es necesario, en forma secuencial los pares de columnas siguientes. No deberán saltarse líneas en el llenado.

ESTACION

HOYA:

1. Código de la estación		2. Identificación de la curva Número Versión		3. Cota cero del LM		4. Número de puntos que definen la curva	
Rol DGA							
5. Número del aforo Inicial Final		6. Periodo de validez Fecha de inicio Fecha de término Día Mes Año Día Mes Año					
7. Extrapolada Sobre H = mts Bajo H = mts		8. Técnica de extrapolación ☐ 1. Gráfica ☐ 2. Gráfica con apoyo aforos anteriores ☐ 3. Analítica y logarítmica ☐ 4. Fórmula de Manning ☐ 5. Metodo de Stevens (Chezy) ☐ 6. Metodo velocidad media ☐ 7. Otro					
9. Fecha de trazado Día Mes Año		10. Responsable del trazado Nombre Firma					

[illegible]

ALTURAS EXTREMAS REGISTRADAS		OBSERVACIONES
	Fecha	
H max	mts	
H min	mts	

- Los pares H-Q deben cubrir todo el rango de alturas extremas registradas en el periodo, más 5 cm. para cada extremo.
- Los valores de alturas se anotarán en mt., con dos decimales.
- Los valores de caudal se anotarán en m³/s., con tres cifras significativas (valores < 1.0 m³/s. hasta el litro).

2.3 Pie del Formulario:

- Alturas Extremas Registradas: Se anotarán las alturas extremas registradas en el periodo de validez de la curva, junto con sus fechas de ocurrencia. Estas se obtendrán directamente de los registros ya revisados y corregidos (si procede).
- Observaciones: Al pie de la página se anotarán brevemente las observaciones que se consideren de interés, como por ejemplo: metodología de extrapolación (si no se ajusta rigurosamente a un método), razones por las que no se puede definir una curva de descarga (cuando proceda).

4.1

PERIODICIDAD O FRECUENCIA DE AFOROS

Se entiende por periodicidad o frecuencia de aforos, al intervalo de tiempo que hay entre la ejecución de dos aforos consecutivos de manera de poder lograr un diseño óptimo de las curvas de descarga, especialmente para valores extremos. Para determinar la frecuencia óptima se deberá, considerar entre otras cosas, la ubicación geográfica de la estación en la hoya hidrológica, las condiciones de acceso, el diseño de la instalación y construcción de la estación fluviométrica, períodos de crecidas, tipo de sección, etc.

La frecuencia de aforos, por lo tanto, no debería ser rígida, como lo es en la actualidad (un aforo por mes en cada estación fluviométrica), al contrario, podría ser variable en el tiempo y variable para cada estación. Sólo de ésta forma se podrá cubrir todas o la mayor parte de las variaciones de caudales que éstas controlen.

4.2

CONDICIONES PARA DETERMINAR LA FRECUENCIA DE AFOROS

4.2.1

PERIODOS DE CRECIDAS

Obviamente, que para tener valores altos en la estadística provenientes de crecidas, los aforos deben ejecutarse en forma mucho más frecuente y en lo posible aforando la crecida misma.

Esto es muy importante, ya que generalmente para el diseño de la curva de descarga sólo se cuenta con aforos en la parte baja y media de ella.

Sin embargo, no basta considerar el valor de la crecida, pues la sección podría modificarse desde el inicio hasta el final de ella, ya sea por socavación o embanque, produciéndose un cambio de curva no en el peak, sino antes o después de éste. Por lo tanto, será necesario contar hasta donde sea posible con la mayor cantidad de aforos para definir la situación.

Es necesario distinguir entre períodos de crecidas pluviales y períodos de crecidas de deshielo. En general, el primero tiene forma algo brusca, mientras que el segundo, tiene forma más suave. Por lo tanto, aunque en ambos se debe aumentar la frecuencia de aforos, en el primer caso, la frecuencia debe ser mayor.

PERIODO DE CRECIDA ==> MAYOR FRECUENCIA

4.2.2 PERIODO DE SEQUIA

En períodos de sequía o estiaje, generalmente también se cuenta con muy poca información que ayude a definir la parte extrema inferior de la curva de descarga. Por lo tanto, será necesario variar la frecuencia de los aforos.

PERIODO DE SEQUIA ==> MAYOR FRECUENCIA (Estación con fondo Inestable)

ó

PERIODO DE SEQUIA ==> MENOR FRECUENCIA (Estación con fondo Estable)

4.2.3 NUMERO DE CURVAS DE DESCARGA

Estaciones con un alto número de curvas de descarga,

reflejan una inestabilidad de la misma. Esta inestabilidad puede ser producto de muchas causas, tales como: tipo de lecho, ubicación en algún punto singular del río, tipo y calidad de la construcción de la estación régimen del escurrimiento, embanques por sedimentos, erosión o socavación por crecidas, etc.

MAYOR NUMERO DE CURVAS ==> MAYOR FRECUENCIA

4.2.4

UBICACION DE LA ESTACION

Esto se refiere a la ubicación geográfica de la estación dentro de la cuenca.

Se consideran varios casos:

- Diferente régimen de caudales, pluvial (en valles y costa) deshielo en precordillera.

AMBOS REGIMENES ==> MAYOR FRECUENCIA

- Distancia a cubrir para llegar a la estación

MAYOR DISTANCIA ==> LIMITA FRECUENCIA

- Condiciones de acceso a la estación. Hay períodos que por razones climáticas no es posible llegar a la estación.

En estos casos de todas maneras es necesario realizar aforos, pudiendo hacerse en otro lugar, indicando sus características en un informe especial mencionado en capítulo de antecedentes previos (distancias, aportes, etc.). Debe asignarse el código de la estación que se pretende medir.

CLIMA ==> LIMITA FRECUENCIA EN PARTE

- Estaciones en desagües de lagos. Estas generalmente son estables y no tienen problemas de socavaciones ni de embanques significativos. Tampoco tienen variaciones bruscas de caudales, por estar reguladas por lagos. Se puede, por lo tanto, disminuir la frecuencia de aforos.

DESAGUES DE LAGOS ==> MENOR FRECUENCIA

- Características de los cauces. Generalmente en cauces tranquilos, donde no hay arrastre de sedimentos, donde no hay condiciones aguas arriba que puedan cambiar el régimen de río a torrente, donde la estación está ubicada en un largo tramo recto del río, podría disminuirse la frecuencia de aforos.

CAUCE TRANQUILO ==> MENOR FRECUENCIA

4.2.5 ESTABILIDAD DE LA ESTACION

Se refiere principalmente a la forma de la sección de aforos y al material con que está construida la estación.

En líneas generales se consideran más estables y por lo tanto, requieren de menor frecuencia de aforos, las siguientes:

- Estaciones revestidas
- Estaciones con vertedero
- Estaciones con Parshall
- Estaciones con fondo y paredes en roca
- Estaciones en canales
- Estaciones en salida o desagüe de lagos

MAYOR ESTABILIDAD ==> MENOR FRECUENCIA

Debe tenerse cuidado al aplicar éstas consideraciones pues podrían alterarse en algunos casos, ya sea por condiciones de aguas arriba (de régimen de río a torrente) o condiciones de aguas abajo (de régimen de torrente a río).

En líneas generales se consideran menos estables y por lo tanto, requieren de mayor frecuencia de aforos, las siguientes:

- Estaciones con lecho aluvial
- Estaciones con lecho y paredes con mucha vegetación
- Estaciones con lecho de arena
- Estaciones con lecho de limos ó móvil

MENOR ESTABILIDAD ==> MAYOR FRECUENCIA

4.2.6

ESTACIONES ESPECIALES

Se considera estaciones especiales, a aquellas que integran parte del boletín mensual del Depto. de Hidrología y a aquellas que por sus características de ubicación adquieren importancia especial por su cercanía a ciudades o lugares de interés.

En estos casos es muy importante que la frecuencia de aforos, este muy bien analizada y que éstos puedan ejecutarse de acuerdo a lo programado, permitiendo de esta manera una oportuna y buena estadística, por lo tanto, logrando una más ágil y confiable entrega de información a la comunidad.

Obtener un programa de frecuencia de aforos implica seguir los siguientes pasos:

- 1° La oficina regional propondrá para cada estación la frecuencia de aforos, dando sus respectivas razones basados en los efectos indicados anteriormente y en otros que en la práctica puedan surgir.
- 2° El nivel central analizará las proposiciones de acuerdo a las condiciones indicadas, que la aprobará o corregirá si lo estima conveniente.

NOTA:

Para los casos, en que se pueda disminuir la frecuencia de aforos, se debe tener especial cuidado de que funcione correctamente el limnógrafo durante todo el intervalo de tiempo entre los aforos. También debe considerarse la longitud del tubo o cámara limnográfica, la que podría limitar el recorrido del contrapeso del reloj.

5.1

VALIDACION DE AFOROS EN TERRENO

La Curva de Descarga, servirá para verificar la ejecución y resultado del aforo. Se comprueba que para la misma altura, el caudal no exceda de un 5% del valor proporcionado por la curva vigente. Si éste, tiene un valor mayor, se deberá buscar las razones de su dispersión, tales como las siguientes:

- Aforo mal ejecutado
- Aforo mal calculado
- Aforo con método de cálculo distinto
- Altura limnimétrica mal leída
- Embanques
- Socavaciones
- Reparaciones
- Molinete con problemas
- Etc. (ver punto 3.6)

Si una vez analizado el aforo, no hay ninguna razón que justifique una dispersión mayor del 5%, ni indicios de una nueva curva de descarga, será necesario repetir la ejecución del aforo y el control limnimétrico se hará para cada vertical desde el inicio hasta el término de éste. (figura N°8)

5.2

ESTADISTICA MANUAL

Una vez definida la curva de descarga, ésta servirá para la traducción de los registros de alturas y llevarlos a una estadística de caudales.

Una cálculo manual debe considerarse como provisional , corresponde a un procesamiento simplificado y aproximado, por lo tanto, con los errores propios de éste. Sin embargo, para saber interpretar dicha estadística, necesariamente debe entenderse en general, el proceso correcto y el grado de aproximación que se está realizando debe utilizarse en caso necesario

El proceso correcto para calcular una estadística es el cálculo computacional.

5.2.1 PROCESO COMPUTACIONAL

El programa de cálculo de caudales, asigna a cada una de las alturas H_i (provenientes de observaciones limnimétricas o limnigráficas) el caudal obtenido directamente de la curva de descarga. Para calcular el caudal medio integra cada caudal puntual Q_i proporcionalmente a la duración T_i de este valor (T_i es el intervalo medio de tiempo que hay entre las alturas registradas, sean LM o LG). el resultado del proceso de caudales será más exacto mientras más alturas existan, por lo tanto, el registro continuo de alturas es lo ideal (LG).

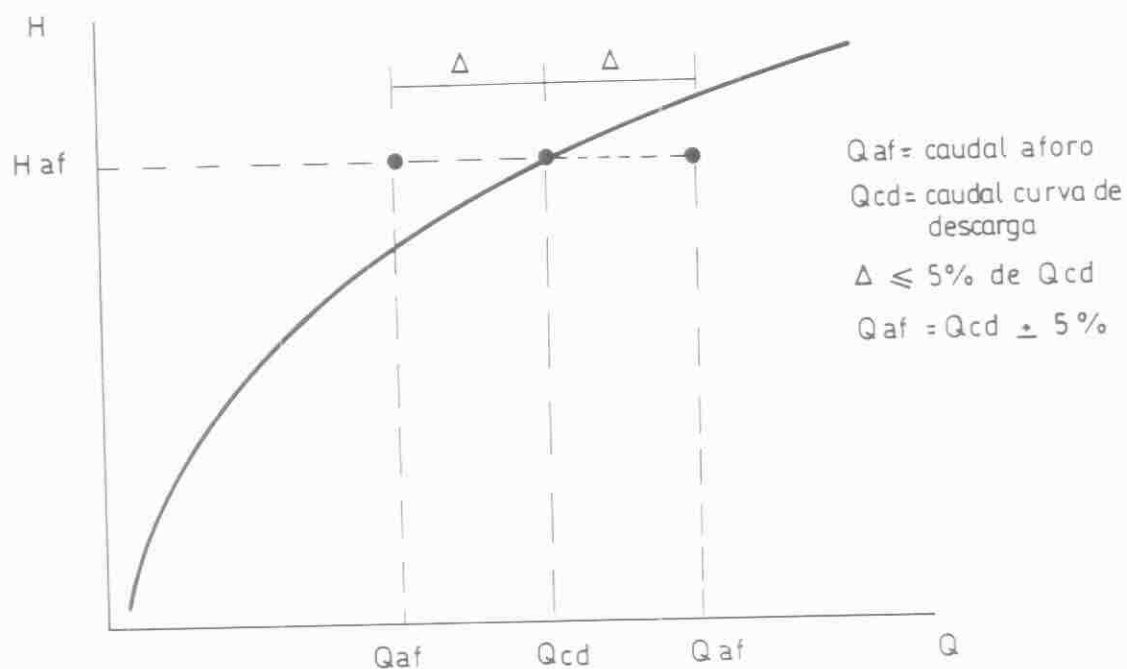
Luego se tiene:

Para cada $H_i \implies Q_i$ que dura un tiempo T_i

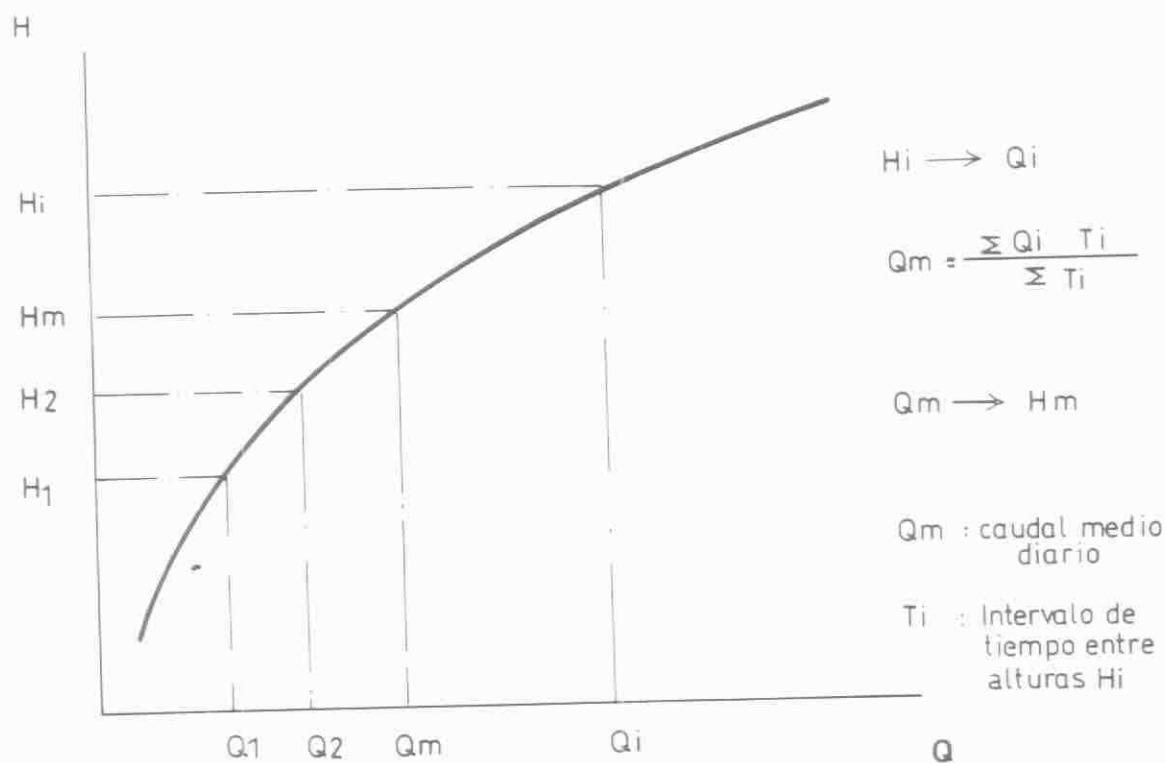
El caudal medio diario correcto será:

$$Q_m = \frac{\sum Q_i T_i}{\sum T_i}$$

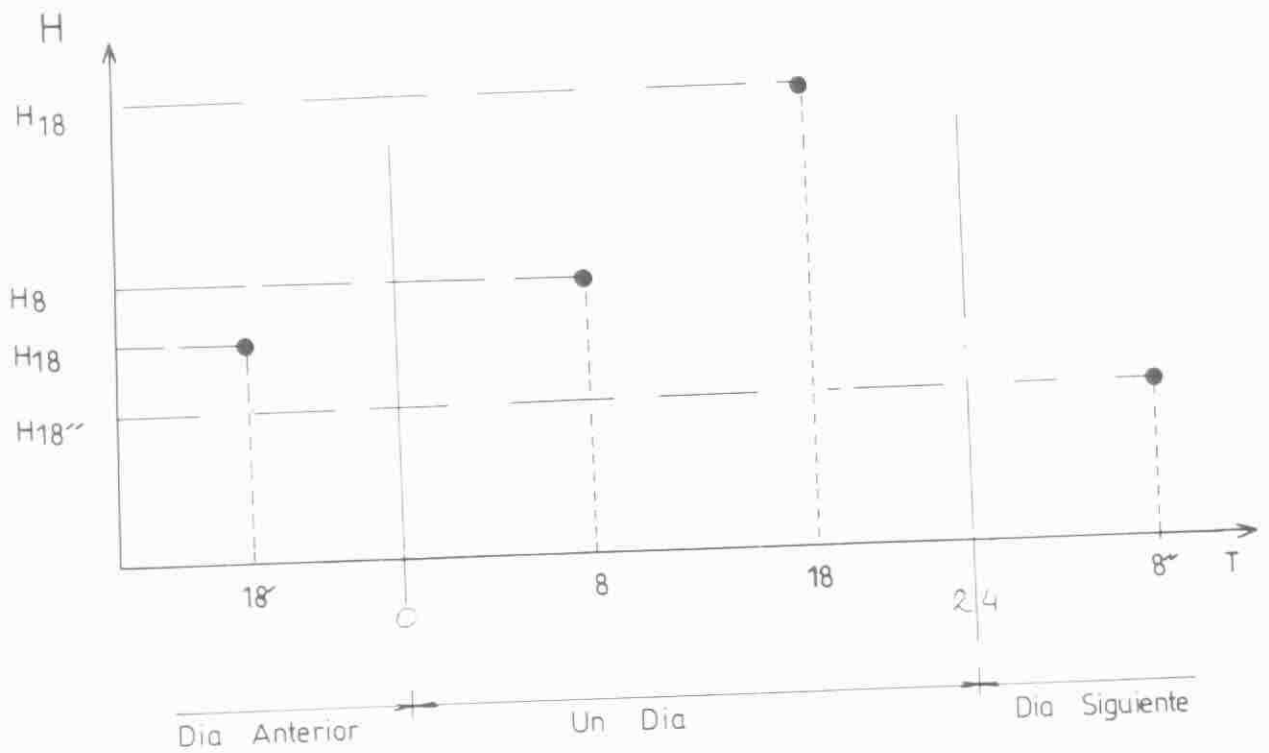
VALIDACION DE AFOROS EN TERRENO



CALCULO DEL CAUDAL MEDIO DIARIO

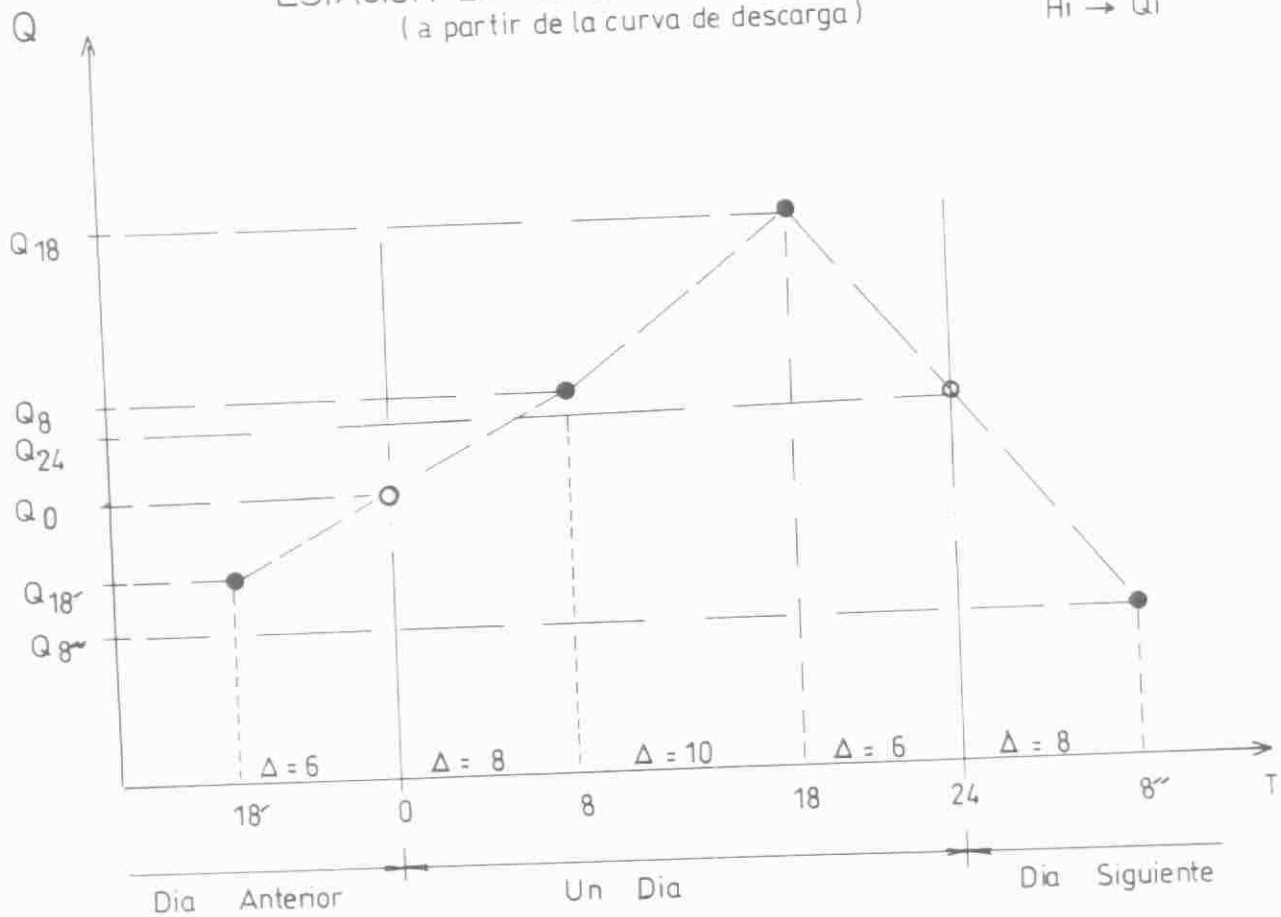


ESTACION LIMNIMETRICA: NIVELES



ESTACION LIMNIMETRICA: CAUDALES (a partir de la curva de descarga)

$H_i \rightarrow Q_i$



Donde:

H_i altura de nivel de agua cualquiera (LM o LG)
 Q_i caudal de la curva de descarga para la altura H_i
 T_i duración de la altura H_i o caudal Q_i
 Q_m caudal medio diario correcto
sumatoria de valores

Es necesario tener presente, que las variaciones del nivel del agua no son lineales, y que la curva de descarga tiene variación parabólica.

APLICACION DE LA FORMULA A UNA ESTACION LIMNIMETRICA CON DOS ALTURAS DIARIAS, UNA A LAS 08:00 HORAS Y LA OTRA A LAS 18:00 HORAS.

Considerando la definición de T_i y Q_i dadas anteriormente del gráfico N°9 se tiene:

$$Q_m = \frac{Q_0 T_0 + Q_8 T_8 + Q_{18} T_{18} + Q_{24} T_{24}}{T_0 + T_8 + T_{18} + T_{24}}$$

Reemplazando y ordenando:

$$Q_m = \frac{1}{6} Q_0 + \frac{3}{8} Q_8 + \frac{1}{3} Q_{18} + \frac{1}{8} Q_{24}$$

Pero: Q_0 no se conoce, pues no hay H a la hora 00:00
 Q_{24} no se conoce, pues no hay H a la hora 24:00

Estos se obtienen del mismo gráfico, utilizando triangulaciones y los caudales Q_{18}' del día anterior y Q_8'' del día siguiente.

Se tiene:

$$Q_0 = \frac{8}{14} Q_{18'} + \frac{6}{14} Q_8 \qquad Q_{24} = \frac{8}{14} Q_{18} + \frac{6}{14} Q_{8''}$$

Reemplazando y ordenando se llega a:

$$Q_m = \frac{2}{21} Q_{18'} + \frac{25}{56} Q_8 + \frac{17}{42} Q_{18} + \frac{3}{56} Q_{8''} \qquad 6$$

$$Q_m = 0.095 Q_{18'} + 0.446 Q_8 + 0.405 Q_{18} + 0.054 Q_{8''}$$

$$Q_m = 9.5\% Q_{18'} + 44.6\% Q_8 + 40.5\% Q_{18} + 5.4\% Q_{8''}$$

Donde:

Q_m Caudal medio diario

$Q_{18'}$ caudal para la altura de las 18:00 del día anterior

Q_8 caudal para la altura de las 08:00 del día a calcular

Q_{18} caudal para la altura de las 18:00 del día a calcular

$Q_{8''}$ caudal para la altura de las 08:00 del día siguiente

Para estaciones con registro limnigráfico, es más complejo aún, pues se exige digitalizar muchas alturas diarias, de modo que se siga fielmente dicho registro continuo.

5.2.2. PROCESO DE CALCULO MANUAL

Como no es posible, aplicar el mismo programa de cálculo exacto del caudal, en forma manual, por considerar muchos datos de entrada para un mismo día T_i , H_i , Q_i , éste proceso se ha simplificado, y por lo tanto, los valores resultantes son sólo aproximados.

Por otra parte, debido a que la curva de descarga tiene forma parabólica y no lineal, los valores medios diarios y promedios matemáticos de caudales puntuales no corresponden. (ver figura)

$$\text{Para } H_i \implies Q_i$$

$$Q_m = \frac{\sum Q_i T_i}{\sum T_i}$$

con Q_m se obtiene H_m de la curva

Para $H_p = \frac{\sum H_i}{N}$ donde: H_p = altura promedio de las H_i
 N = Cantidad de alturas leída en el mismo día.
 Σ = Sumatoria

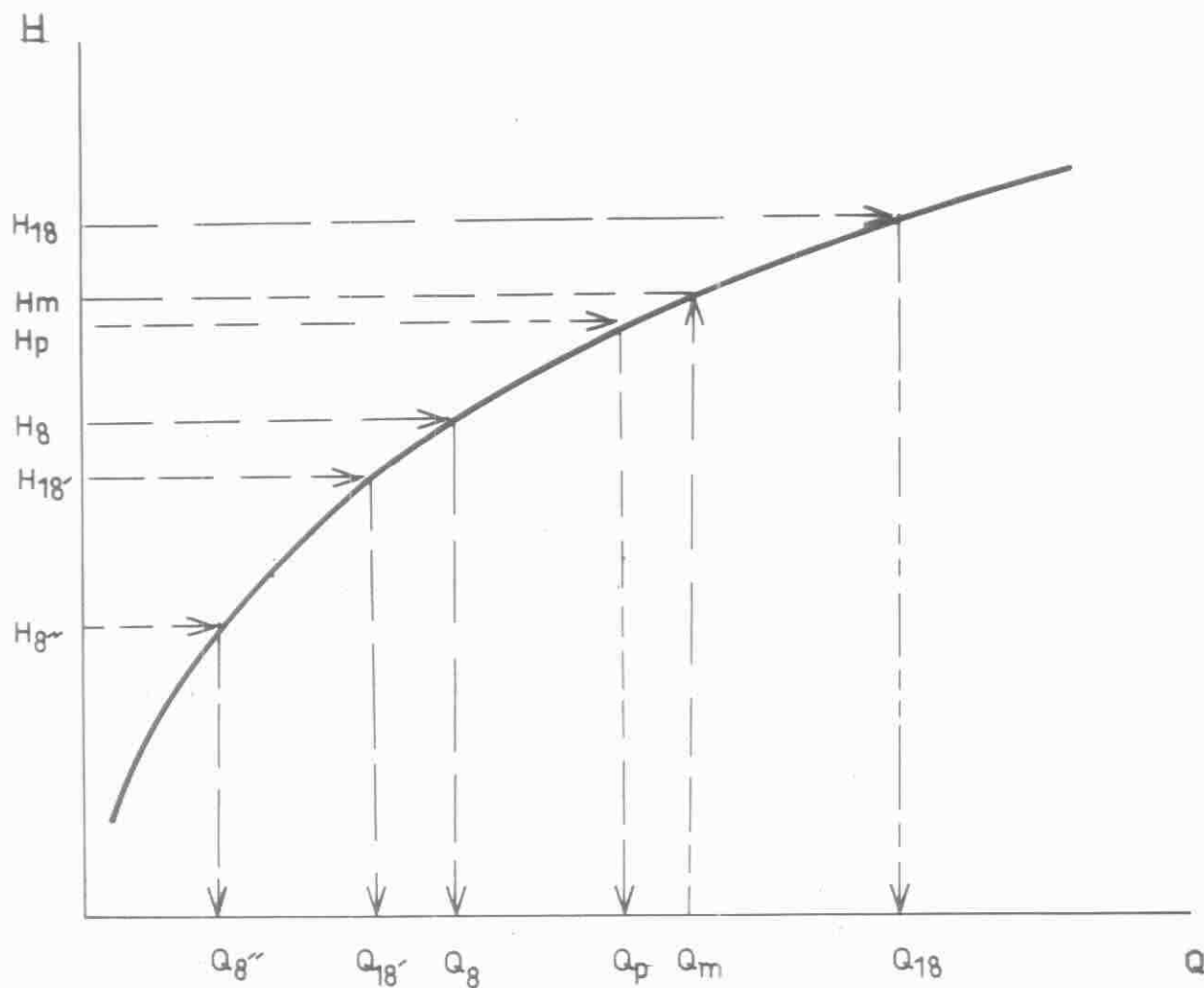
con H_p se obtiene Q_p de la curva

pero Hp ==/= Hm
Qp ==/= Qm

Donde Q_p es el caudal promedio diario aproximado equivalente al Q_m correcto.

Es evidente que esta aproximación es menor mientras menos influya la curvatura de la curva de descarga. Es por ello que para períodos de limnigramas con grandes variaciones, se debe considerar mayor cantidad de períodos T_i en la medida que estas subidas o bajadas del limnigrama sean más acentuadas.

CAUDAL PROMEDIO DIARIO APROXIMADO : MANUAL



$$H_8 \longrightarrow Q_8$$

$$H_{18} \longrightarrow Q_{18}$$

La curva de descarga es parabolica y no lineal

$$Q_m = \frac{\sum Q_i T_i}{\sum T_i}$$

$\longrightarrow$

$$H_m \neq H_p$$

Simplificando

$$Q_m \neq (Q_8 + Q_{18})/2$$

$$H_p = \frac{H_8 + H_{18}}{2}$$

$\longrightarrow$

$$Q_p \neq Q_m$$

$$Q_p \leq Q_m$$

Q_m : Caudal medio diario correcto

Q_m : Caudal promedio diario aproximado : metodo manual

RESUMEN DE PASOS A SEGUIR EN EL CALCULO MANUAL:

- 1 Se promedian las alturas LM -o LG y se obtiene H_p
- 2 Se obtiene el caudal para H_p directamente desde la curva de descarga.
- 3 Se calcula el caudal medio del mes con el promedio de los caudales promedios diarios.

NOTAS:

- 1 Por la simplicidad y aproximaciones realizadas, se está incurriendo en un error de aproximadamente hasta un 7% del caudal calculado por el método exacto.
- 2 El caudal promedio será menos aproximado, mientras más distintas o extremas sean las alturas consideradas, para altura promedio del día.

ESTADISTICA DE CAUDAL MEDIO
m3 / s

Latitud	:	S
Longitud	:	O
Altura	:	m, s, m
Area	:	Km/2

AÑO

[illegible]

- 6.1 Diseñar una curva de descarga puede resultar muy complejo, debido a la gran cantidad de parámetros y factores a considerar, entre los que se cuentan fenómenos hidrológicos difíciles de interpretar al no disponer de toda la información necesaria.
- 6.2 No basta dibujar las coordenadas altura (H) y caudal (Q) de los aforos en un gráfico y luego trazar una curva compensatoria entre los aforos; sino que, se deben conocer a cabalidad todos los antecedentes para una correcta interpretación, y conocer la estación en detalle como también en su contexto geográfico dentro del área tributaria que controla y aún, en la hoya hidrológica en su totalidad. Sólo de esta manera se podrá realizar un diseño adecuado de las curvas de descarga y por lo tanto una estadística más confiable.
- 6.3 Es necesario tener siempre presente que el objetivo no es la curva en sí misma, sino que, generar una estadística fluviométrica continua, confiable y oportuna.
- 6.4 Es muy importante que el personal técnico que opera la estación, informe clara, completa y oportunamente de todos los acontecimientos y eventos que ocurran en la estación, al personal técnico que interpreta la información y que elabora las curvas de descarga. (En la actualidad los informes técnicos de terreno, cuando se hacen, generalmente son incompletos y poco claros ó bien se da información escueta por radiograma ó teléfono).

- 6.5 Es de mucha importancia que la información básica, generada en la estación, este completa, continua y buena. Esto significa que debe existir una correcta operación y mantención de la estación fluviométrica, de todas sus instalaciones como también de los instrumentos que la conforman.
- 6.6 Debe darse prioridad a ejecutar aforos en forma más frecuente en períodos de crecidas (y de estiaje en algunos casos), porque aunque estén sujetos a algún error, serán siempre importantes y vendrán a complementar los diversos métodos de extrapolación para el diseño de las partes extremas de las curvas de descarga.
- 6.7 En cada oportunidad que ocurra una crecida que no sea registrada por el limnógrafo, debe marcarse a la brevedad las trazas y llevarlas de inmediato a la altura limnimétrica correspondiente, ya que, el sólo valor de la crecida no es muy útil para definir las tendencias de la parte alta de la curva de descarga.
- 6.8 Cada Región deberá proponer la frecuencia óptima de aforos, considerando las condiciones que la determinan, para cada una de las estaciones fluviométricas vigentes.

- 1 "NORMAS HIDROMETRICAS", Tomo II, Dirección General de Aguas, 1978.
- 2 "MANUAL DE PROCEDIMIENTOS", Tomo IV, ENDESA, 1964.
- 3 "NOTAS SOBRE HIDROMETRIA", Andrés Arriagada, 1969.
- 4 "HIDRAULICA", Samuel Trueba Coronel, 1968.
- 5 "TRATADO DE HIDROLOGIA APLICADA", Gastón Remenieras, 1971.
- 6 "ELEMENTOS DE HIDROLOGIA", B. Espíldora, E. Brown, G. Cabrera y P. Isensee. Centro de Recursos Hidráulicos de la Universidad de Chile, 1975.
- 7 "HIDRAULICA, SINGULARIDADES EN CANALES ABIERTOS", José Muñoz, 1984.

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA

DETERMINACION INDIRECTA DE CAUDALES DE CRECIDAS
POR EL METODO DE AREA PENDIENTE

1991



I N D I C E

DETERMINACION INDIRECTA DE CAUDALES DE CRECIDAS. POR EL METODO DE "AREA -PENDIENTE

- 1.- INTRODUCCION
- 2.- ALCANCES RELATIVOS A LA APLICACION DEL METODO
- 3.- APLICACION DEL METODO
 - 3.1.- GENERALIDADES
 - 3.2.- HIPOTESIS BASICAS DEL METODO
 - 3.3.- ELECCION DEL TRAMO DE MEDICION
 - 3.3.1.- Trazas bien definidas
 - 3.3.2.- Rectitud del tramo
 - 3.3.3.- Sección mojada uniforme
 - 3.3.4.- Caída de fondo
 - 3.3.5.- Estabilidad del lecho
 - 3.3.6.- Cauces tributarios y Bocatomas
 - 3.3.7.- Longitud del tramo de medición
 - 3.4.- MARCAS DE NIVELES MAXIMOS DE AGUA, O TRAZAS
 - 3.5.- MEDICIONES DE TERRENO
 - 3.5.1.- Topografía
 - 3.6.- DETERMINACION DE LA RUGOSIDAD DEL CAUCE
 - 3.6.1.- Introducción
 - 3.6.2.- Factores que afectan el Coeficiente de Rugosidad
 - 3.6.3.- Valores adoptados para el Coeficiente de Rugosidad
 - 3.7.- CALCULOS HIDRAULICOS
 - 3.7.1.- Introducción
 - 3.7.2.- Factores relevantes para el cálculo
 - 3.7.3.- Cálculo del caudal máximo en crecida

- 3.7.4.- Número de Froude
- 3.7.5.- Caudal variable
- 3.7.6.- Evaluación de los resultados obtenidos

ANEXO 1 : PROGRAMA COMPUTACIONAL "SLOPEAREA" PARA EL CALCULO DEL CAUDAL MAXIMO DURANTE UNA CREGIDA POR EL METODO DE AREA-PENDIENTE (Publicación U.S.G.S.).

ANEXO 2 : EJEMPLO DE APLICACION DEL PROGRAMA "SLOPEAREA" AL CASO DE LA CREGIDA DE JUNIO DE 1986 EN TINGUIRIRICA EN BAJO LOS BRIONES.

DETERMINACION INDIRECTA DE CAUDALES DE CRECIDAS

METODO DE "AREA-PENDIENTE"

1.- INTRODUCCION

Siempre que ocurre una crecida importante, se presenta el problema de la determinación de su caudal. En ríos donde la respuesta es lenta, el caudal máximo instantáneo se puede determinar mediante medición directa (si la crecida no sobrepasa cierta altura), o bien por extensión de la curva de descarga.

En lugares apartados, sin embargo, o ante la presencia de alteraciones producidas por escombros u otros obstáculos al normal escurrimiento de las aguas, altas velocidades o variaciones bruscas en la altura del agua, se debe recurrir a métodos indirectos, los que habitualmente son lentos de aplicar y en ocasiones resultan costosos, además de no ser muy precisos.

Uno de estos métodos, comunmente aplicado, es el denominado de "AREA-PENDIENTE", del cual es importante destacar, en primer lugar, que cuenta con una exactitud del orden de 75% (25% de error), habiendo entregado en muchos casos resultados aún más exactos, dependiendo del cuidado que se tenga en su aplicación.

A pesar de esto, conviene tener presente que en una no despreciable cantidad de casos, a pesar de proceder con bastante esmero en su aplicación, se puede esperar errores importantes, los que, debido principalmente a la dificultad de

cumplir en forma óptima con todas las condiciones necesarias para aplicar este método, generalmente son por exceso (sobre-estimación del caudal real).

Básicamente, el método consiste en determinar el caudal máximo que escurrió por un cauce a través de un punto determinado de éste, durante una crecida.

Para ésto, se elige un tramo del cauce (basándose en ciertos criterios que se verán más adelante), dentro del cual se debe efectuar el levantamiento topográfico del perfil longitudinal por el eje del río y varios perfiles transversales.

Por otra parte, el tramo debe contar con trazas dejadas por la crecida, las que también deben ser levantadas topográficamente. Todo lo anterior se presenta en la figura 1.

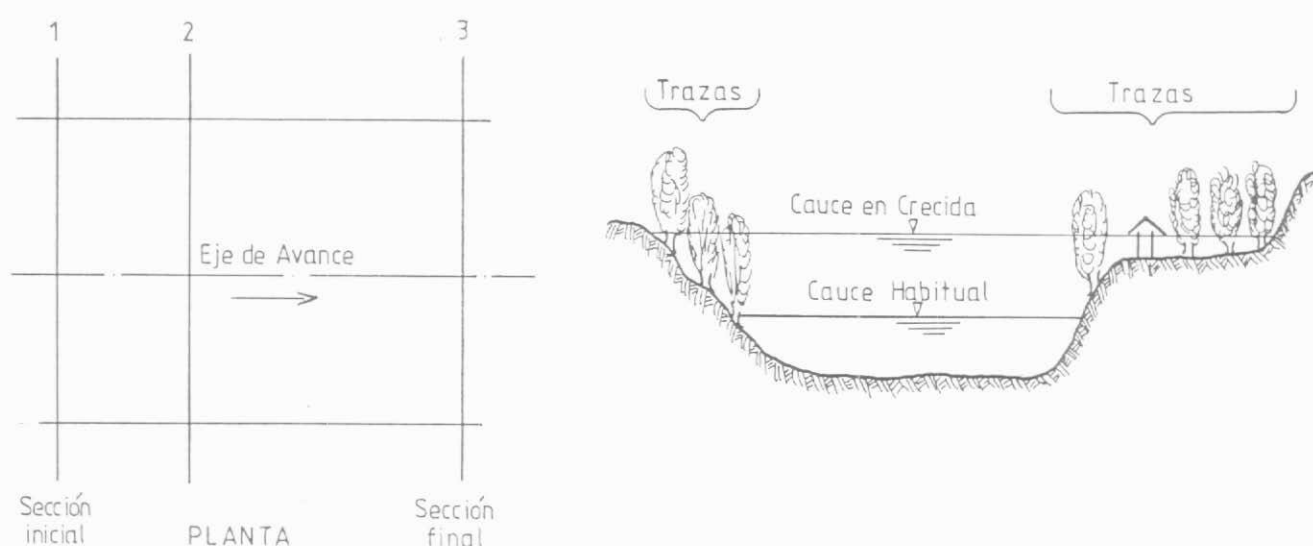


Figura 1

Tramo de Medición y Secciones Transversales

A partir de todos estos antecedentes, más la determinación de parámetros de terreno, como la rugosidad del lecho, por ejemplo, se procede a efectuar los cálculos hidráulicos que entregan un valor aproximado para el caudal máximo de la crecida.

Los caudales determinados por éste u otros métodos son usados generalmente en análisis de frecuencia de crecidas, o bien en el desarrollo de curvas envolventes de crecidas máximas históricas para cuencas de distintos tamaños (superficie drenada). Dichas curvas son útiles para el diseño de las distintas obras susceptibles de ser afectadas por una crecida.

Esto adquiere vital importancia en el caso de obras construidas directamente en las riberas o inmediaciones de un cauce, como por ejemplo estaciones fluviométricas, bocatomas, defensas fluviales, puentes, etc.

Como se estableciera anteriormente, el método referido presenta cierta tendencia a la sobre estimación de los caudales de crecida, lo cual debe considerarse para evitar sobredimensionar dichas obras, por los altos costos que ello significa.

Finalmente, debe tenerse en cuenta, que este método no es de aplicación general por su complejidad, pero es de mucha importancia cuando en ese lugar va a construirse una obra mayor para cuyo proyecto es indispensable determinar los caudales de crecida, como sería el caso del vertedero de un muro de presa, un puente importante, la defensa de una gran ciudad en expansión, etc.

2.- ALCANCES RELATIVOS A LA APLICACION DEL METODO DE AREA-PENDIENTE.

Aunque el desarrollo y verificación del método se basó en cursos de agua relativamente tranquilos, de baja pendiente, su uso se ha hecho extensivo a escurrimientos extremadamente turbulentos, en cauces de fuertes pendientes longitudinales.

Es precisamente por este motivo que cada vez se debe tener mayor cuidado en la aplicación de estos métodos indirectos de determinación de caudales, y es cada vez más frecuente encontrar casos en que los resultados no son los esperados

Nunca la generalización en el uso de un método resulta conveniente, por muy elementales que sus hipótesis parezcan, las que dicho sea de paso, no son en este caso precisamente poco exigentes.

Por otra parte, cabe destacar que, como se verá más adelante, el método de área-pendiente se basa en el cálculo de la altura normal, la cual probablemente sólo ocurre durante ciertas crecidas en determinados tramos de algunos ríos de nuestro país. En consecuencia, se aplica este método cuando no se cuenta con mejores herramientas, convirtiéndose, por así decirlo, en un último recurso.

Como se ha dicho anteriormente, el cuidado que se tenga al aplicar el método de área-pendiente resulta fundamental en la calidad de los resultados, existiendo varios factores comunes que representan fuentes de error en cursos de agua de pendiente fuerte, algunos de los cuales se entrega a continuación:

- Mala estimación de la rugosidad del lecho
- Erosión del cauce

- Pérdidas de energía producidas por expansiones o contracciones de la sección de escurrimiento.
- Condiciones del escurrimiento distintas a las supuestas en las hipótesis básicas para el desarrollo de altura normal, como por ejemplo:
 - Viscosidad distinta a la del agua pura
 - Distribución irregular de velocidades
 - Existencia de flujo no uniforme.
- Cantidad de secciones transversales seleccionadas (esto se verá más adelante).
- Variaciones de la pendiente longitudinal
- Exactitud requerida.

Todos estos factores deberían ser considerados en la aplicación del método de área-pendiente en cada caso, especialmente en lechos de pendiente fuerte, y aún más cuando no se les pueda evitar cambiando el tramo de río seleccionado, por ser las condiciones comunes a toda la longitud del curso de agua donde interesa cuantificar el caudal de una determinada crecida.

3.- APLICACION DEL METODO DE AREA-PENDIENTE

3.1.- GENERALIDADES

Es por todos conocida la enorme dificultad, o imposibilidad en muchos casos, de medir el caudal máximo durante una crecida usando técnicas de aforo usuales, si es que el hidromensor tiene la suerte de estar o alcanzar a llegar al punto de interés en los instantes en que esté escurriendo el caudal máximo de la crecida.

Debido principalmente a las fuertes pendientes que los cauces en su mayoría presentan en nuestro país, las crecidas logran desarrollar grandes velocidades, siendo necesario contar con instalaciones especiales en los puntos de interés, resultando imposible la medición sin dichas instalaciones, con las que lamentablemente no se cuenta.

En aquellos puntos que cuentan con estaciones fluviométricas de registro continuo, la limitación principal es la mala definición de la curva de descarga en su parte alta, siendo necesario extrapolar dicha curva, arriesgando introducir errores importantes. Esto en el caso en que la estación no haya sido dañada por la crecida, o lo que es peor, destruida.

En un intento por abordar estos casos en que no es posible efectuar la medición durante una crecida, se recurre a este método indirecto para determinar, en forma aproximada, el caudal máximo instantáneo, después de pasada la crecida.

La principal razón para denominar a este método de "área-pendiente", es precisamente porque se basa en la pendiente de un tramo de río y del área de la sección inundada, el cual fue analizado y discutido por el U.S. Geological Survey

en 1976, mediante una publicación bajo el título: "Measurement of Peak Discharge by the Slope-Area Method".

Cabe destacar que existen varios métodos de medición indirecta, todos los cuales se basan en los siguientes factores que definen el escurrimiento durante una crecida:

- a) Condiciones físicas del cauce: - dimensiones
 - forma
 - pendiente
 - etc.
- b) Altura alcanzada por el agua producto del escurrimiento del caudal máximo instantáneo.
- c) Factores hidráulicos: - rugosidad
 - coeficientes de descarga
 - etc.

La calidad de las mediciones y evaluación de algunos de estos factores dependerá de la experiencia del hidromensor, por lo cual resulta fundamental establecer en primer lugar las hipótesis y bases teóricas del método, a objeto de minimizar, o si es posible eliminar el grado de subjetividad propio de cada hidromensor.

3.2.- HIPOTESIS BASICAS DEL METODO DE AREA-PENDIENTE

En este método el caudal se calcula a partir de la ecuación de flujo uniforme, conociendo las características del cauce, el perfil del eje hidráulico en crecida, y el coeficiente de rugosidad o retardación.

Al aplicar este método, se puede usar cualquiera de las

formas de la ecuación de Chezy, siendo la ecuación de Manning la escogida por el U.S. Geological Survey, la que fue originalmente adoptada por simplicidad en su aplicación.

La ecuación de Manning, expresada en términos de caudal, es:

$$Q(m^3/s) = \frac{A R^{2/3} J^{1/2}}{n}$$

Donde:

Q : Caudal m^3/s .

A : Área de la sección mojada, (m^2)

R : Radio hidráulico (m); $R=A/Pm$

Pm: Perímetro mojado (m).

J : Pendiente por fricción, adimensional

n : Coeficiente de rugosidad, adimensional

La ecuación de Manning fue desarrollada para condiciones de flujo uniforme, en las cuales el perfil de la superficie libre del agua (pendiente por fricción) es paralelo a la pendiente de fondo del canal, y tanto el área como el radio hidráulico permanecen constantes a lo largo del tramo. A falta de mejor solución, se supone que la ecuación es también válida para tramos no uniformes, que inevitablemente se encuentran en abundancia en cauces naturales.

Es importante explicar que el agua, al escurrir por un cauce cualquiera, bajo cualquier tipo de condiciones, cuenta con una cantidad de energía inicial, y se mueve gracias a esa energía que tiene en cada momento, la que va entregando o perdiendo a medida que avanza.

Parte de esta energía se gasta en fricción o roce para vencer la rugosidad del lecho (una cierta medida de su

aspereza superficial), otra parte en acelerar o desacelerar el movimiento del agua debido a contracciones o expansiones del cauce que encuentra a medida que avanza, y una última parte se gasta en vencer obstáculos importantes ubicados dentro del cauce.

En el caso de este método, se supone que este tipo de obstáculos no existe (se debe buscar un tramo que no las tenga), por lo cual la energía sólo se pierde por los dos primeros motivos presentados.

Por otra parte, se define, dentro de la ecuación de Manning, el "Factor de Conducción", que se supone que varía uniformemente en el tramo, y cuya expresiones:

$$K = \frac{A R^{(2/3)}}{n}$$

Este factor se puede calcular para cada una de las secciones seleccionadas (esto se explicará más adelante), por lo cual el factor de conducción representativo de un sub-tramo corresponderá al promedio de los factores correspondientes a las secciones consecutivas que lo definen.

Resumiendo, los supuestos básicos son los siguientes:

- Supone flujo uniforme
- Supone que no existe elementos o efectos que produzcan una gran pérdida de energía en algún punto del tramo seleccionado.

3.3.- ELECCION DEL TRAMO DE MEDICION

La elección del tramo adecuado es probablemente el elemento más importante en la aplicación del método de área-pendiente. Un tramo ideal es algo casi imposible de encontrar, por lo que se debe buscar el mejor tramo disponible (o en algunos casos, el menos malo).

Se debe tener presente, en primer lugar, que el objetivo básico es calcular, lo mejor posible, la magnitud del caudal de una crecida **EN UN DETERMINADO PUNTO** de un cauce, que generalmente corresponde a la ubicación de una estación fluviométrica, siempre que las condiciones lo permitan. En caso de no ser esto posible, se deberá buscar un tramo del cauce lo más cercano posible, basándose en los criterios generales establecidos a continuación:

3.3.1.- TRAZAS BIEN DEFINIDAS:

Uno de los factores básicos en la elección de un tramo de medición es la presencia de trazas bien definidas y en lo posible abundantes, siendo éste seguramente el factor más importante a considerar (ver punto 3.4). Un tramo puede tener excelentes condiciones hidráulicas, pero de nada servirá si no cuenta con trazas adecuadas para calcular la magnitud de la crecida que interesa determinar. Es importante tener presente, por ejemplo, que si después de una crecida ha habido fuertes lluvias, éstas pueden haber modificado o simplemente lavado las posibles trazas dejadas por dicha crecida en riberas limpias y despejadas.

Cuando es muy importante la determinación del caudal de crecida en un lugar, la traza puede obtenerse instalando limnímetros de crecida.

3.3.2.- TRAMO LO MAS RECTO POSIBLE

La geometría del río es también muy importante. Se deberá buscar un tramo lo más recto posible, y en caso de no haberlo (en las cercanías del punto de interés), se debería preferir un tramo con contracciones antes que uno con ensanchamientos. Además, debe contar con una longitud mínima a determinar usando los criterios establecidos en el punto 3.3.7.-

3.3.3.- SECCION MOJADA UNIFORME

Al elegir un tramo, se debe tener presente que el método de área-pendiente considera toda la sección mojada en crecida como efectiva, es decir que no hay zonas de "aguas muertas" con velocidades muy bajas, o incluso negativas, por lo que se debe evitar tramos que presenten dichas irregularidades en su escurrimiento. En otras palabras, el tramo debe encontrarse alejado de posibles obras civiles e/o irregularidades naturales que pudieran afectar el normal escurrimiento de las aguas.

3.3.4.- EVITAR CAIDAS DE FONDO EN EL TRAMO O EN SUS CERCANIAS:

También se debe evitar tramos dentro de los cuales pueda haber caídas de fondo significativas; no se trata sólo de evitar la ubicación de algún perfil transversal en secciones con existencia de caídas, sino que no debe haber caídas importantes dentro de todo el tramo elegido.

3.3.5.- EL LECHO DEL CAUCE DEBE SER RELATIVAMENTE ESTABLE:

Como se trabajará con las secciones (perfiles transversales) existentes después de ocurrida la crecida, se espera que éstas en algo se asemejen a las existentes durante la crecida, cosa que no ocurrirá si el lecho sufre grandes variaciones producto de una combinación de los fenómenos de erosión y sedimentación, ocasionados por la socavación y el arrastre y depositación de sedimentos durante la crecida. Es por este motivo que se debe buscar un tramo que presente poca variación de su lecho en el tiempo.

3.3.6.- CAUCES O CANALES TRIBUTARIOS Y BOCATOMAS

El tramo comprendido entre el punto donde interesa conocer la magnitud de la crecida (generalmente una estación fluviométrica) y el punto de medición, debe encontrarse exento de cauces o canales tributarios y bocatomas que pudieran aportar o extraer parte importante del caudal durante la crecida, a excepción de aquellos casos en que dichos caudales aportados o extraídos estén perfectamente cuantificados, y en consecuencia puedan ser incorporados al cálculo hidráulico.

3.3.7.- LONGITUD DEL TRAMO DE MEDICION

En general, la precisión del método de área-pendiente aumentará si la longitud del tramo aumenta. Sin embargo, la longitud deseable de un tramo estará condicionada por la geometría del cauce y por las dificultades prácticas de encontrar tramos largos.

a) CRITERIOS USADOS EN ESTADOS UNIDOS

En Estados Unidos de Norteamérica (U.S. Geological Survey) se recomienda utilizar uno o más de los siguientes criterios para determinar la longitud mínima del tramo:

a.1) La longitud del tramo debe ser igual o mayor que 75 veces la profundidad media del cauce (se define como profundidad media del cauce al valor que se obtiene de dividir el área de la sección mojada por el ancho superficial), como se muestra en la figura 2. Esto equivale a buscar un rectángulo de ancho " l " y altura (o profundidad) " h_m ", que tenga un área total igual al área de la sección mojada " A ".

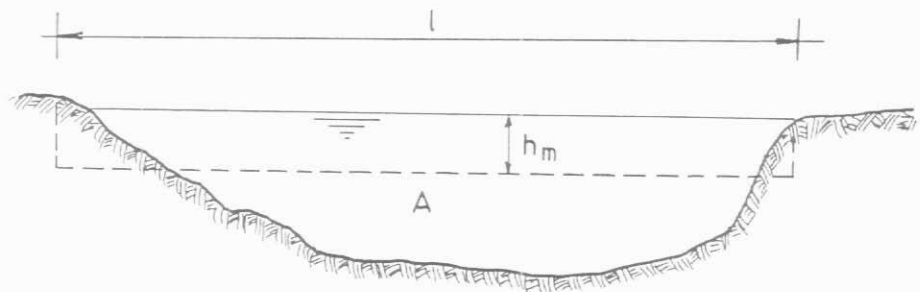


Figura 2

Profundidad media del cauce

a.2) La diferencia de altura de nivel de agua en el tramo, H (ver Figura 3) sobre una referencia común, debe ser mayor o igual que la altura de velocidad: se define como altura de velocidad a la expresión:

$$h_v \text{ (m)} = \frac{\alpha v^2}{2g}$$

donde:

-) v es la velocidad media del escurrimiento, en (m/s)
-) α es el coeficiente de corrección por velocidad; por ahora se puede considerar igual a 1,2.
-) g es la aceleración de gravedad: $g = 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)}$

a.3) La diferencia de altura de nivel de agua ΔH (ver Figura 3) en el tramo, sobre una referencia común, debe ser mayor o igual a 15 centímetros.

b) CRITERIOS PARA CHILE

En el caso de nuestro país, el régimen de escurrimiento que los distintos ríos presentan es bastante distinto al caso de Estados Unidos, por lo cual se ha seleccionado algunos ríos distribuidos en las 13 regiones del país, analizando sus condiciones de escurrimiento en crecida. A partir de los resultados obtenidos, se ha logrado establecer los siguientes criterios para la determinación de la longitud mínima del tramo de medición:

b.1) Se mantiene la primera condición que establece que la longitud del tramo debe ser igual o mayor que 75 veces la profundidad media del cauce.

b.2) Recordando que se debe buscar una longitud del tramo tal que asegure que la diferencia de nivel de agua entre su inicio y su término sea a lo menos igual a una altura de velocidad en crecida (ver Figura 3), se recomienda que dicha diferencia de altura sea mayor o igual a la entregada en la tabla 1.

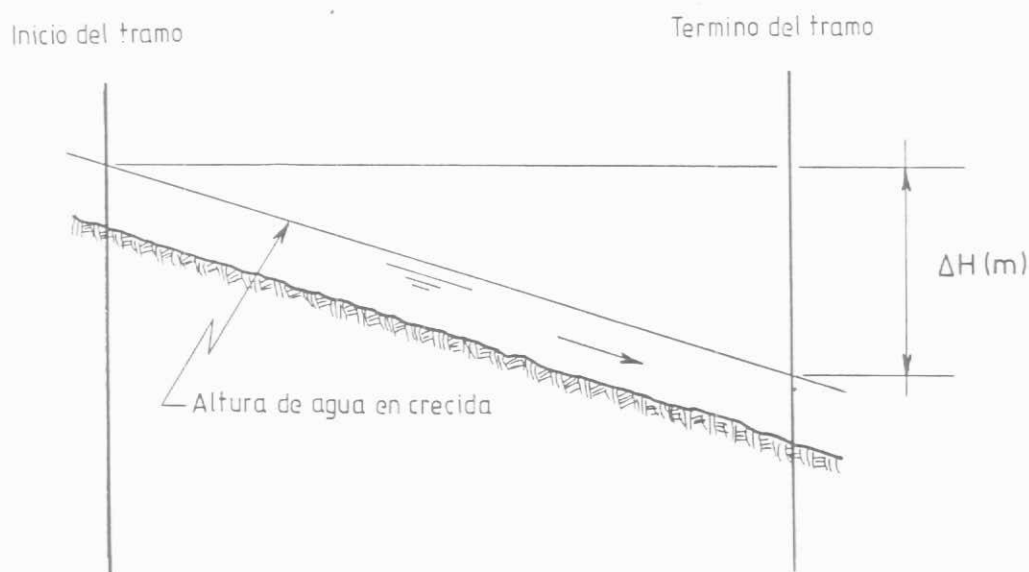


Figura 3
Diferencia mínima de altura de agua en el tramo

Tabla 1

<u>REGION</u>	<u>ΔH (m)</u>	<u>VELOCIDAD MEDIA (m/s)</u>
I	2,00	5,7
II	1,50	5,0
III	2,50	6,4
IV	2,50	6,4
V	2,50	6,4
RM	3,00	7,0
VI	1,50	5,0
VII	1,50	5,0
VIII	1,50	5,0
IX	1,50	5,0
X	1,50	5,0
XI	1,50	5,0
XII	1,50	5,0

En esta tabla se ha intentado establecer un valor único para cada Región (adoptando el valor más alto en cada caso), por lo que su validez es bastante general. Se incluye además la correspondiente velocidad media que tendría el escurrimiento durante la crecida, considerando un coeficiente de corrección por velocidad (coeficiente de Coriolis) de 1,2 ($\alpha = 1,2$).

Si en algún caso se estimare que la velocidad media real durante la crecida fue mayor que la indicada en la tabla 1, se deberá modificar la diferencia de altura H , en conformidad con los valores indicados en la tabla 2, la que muestra la correspondencia entre ΔH (m) y la velocidad media correspondiente, en (m/s).

Tabla 2

VELOCIDAD MEDIA EN CRECIDA	DIFERENCIA MINIMA DE ALTURA A PRODUCIRSE EN EL TRAMO DE MEDICION:
<u>V (m/s)</u>	<u>ΔH (m)</u>
0,5	0,05
1,0	0,10
1,5	0,15
2,0	0,25
2,5	0,40
3,0	0,55
3,5	0,75
4,0	1,00
4,5	1,25
5,0	1,55
5,5	1,85
6,0	2,25
6,5	2,60
7,0	3,00
7,5	3,45
8,0	3,95
8,5	4,45
9,0	5,00
9,5	6,15
10,0	6,15

b.3) La longitud del tramo deberá ser de a lo menos 300 metros.

En síntesis, el criterio que resulte más exigente de los tres anteriores (es decir el que entregue una longitud mayor) indicará la longitud MINIMA del tramo de medición a elegir.

3.4.- MARCAS DE NIVELES MÁXIMOS DE AGUA, O TRAZAS

Las marcas de niveles máximos de agua, o trazas, son la evidencia dejada por una crecida respecto de la magnitud que ésta ha alcanzado. Existe una gran variedad de distintos tipos de trazas, y su apropiada indentificación es seguramente aquella parte del trabajo que requiere de más experiencia.

Debido a que dichas trazas tienden a borrarse o desaparecer rápidamente después de ocurrida una crecida, especialmente en zonas húmedas, es preciso identificarlas tan rápidamente como sea posible, apenas comience el descenso de los niveles máximos de agua.

Como se indicó anteriormente, la existencia de trazas claras y abundantes es una de las condiciones básicas que debe cumplir un adecuado tramo de medición, por lo que es aconsejable efectuar una búsqueda de trazas previo a su elección.

Básicamente, las trazas se encuentran constituidas tanto por marcas de humedad como por elementos flotantes que la crecida arrastra, como por ejemplo ramas, semillas, hojas, papeles, trozos de género, plásticos, y otros objetos que se enredan en árboles, cercos, cultivos, construcciones, vehículos, etc., permaneciendo allí hasta bastante tiempo después de pasada la crecida. Una de las desventajas que presentan estos registros naturales es que no sólo se ubican en los niveles de aguas máximas, sino que se encuentran a distintas alturas, debido a que la corriente las va depositando al nivel máximo que en cada momento tiene, lo que cubre un rango desde cero hasta el nivel máximo real. En consecuencia, se debe siempre seleccionar las más altas de dichas marcas.

Una vez ubicadas, las marcas de aguas máximas deben identificarse mediante estacas, cintas de color, marcas con pintura, clavos, tiza, lápices de color, o cualquier otro elemento disponible que cumpla con el objetivo de conservar las trazas dejadas por el agua.

Es conveniente buscar trazas en ambas riberas del cauce, y en lo posible, llevar algún registro escrito con figuras (dibujos o croquis a mano alzada) indicando la ubicación aproximada de las más importantes, donde se describa el tipo de marca encontrada, además de calificarlas como excelente, buena, suficiente, pobre o mediante cualquier otro calificativo apropiado para reflejar la calidad de la información registrada, toda la cual será de gran utilidad para interpretar el perfil longitudinal de la trazas.

Cabe destacar la importancia de ubicar suficientes trazas convenientemente distribuidas en toda la longitud del tramo de trabajo seleccionado, evitando así que todas ellas se encuentren muy cercanas entre sí, debido a que posteriormente se deberá definir un perfil longitudinal a partir de ellas, tarea bastante difícil si todos los puntos se concentran en un solo sector del tramo elegido.

De este modo, se puede lograr un perfil cuya pendiente longitudinal se asemeje a la de la superficie del agua durante la crecida.

Por otra parte, debe buscarse trazas preferentemente sobre superficies relativamente paralelas a la línea del escurrimiento, a objeto de identificar la pendiente de la corriente principal y no confundirla con remansos laterales de baja velocidad y baja pendiente. En todo caso, estas últimas también son importantes de registrar, teniendo siempre presente

que el agua, al enfrentar elementos que dificulten su escurrimiento, producirá ondas con niveles de agua locales distintos a los de la superficie del agua impuesto por la crecida.

Otro aspecto importante a considerar es el efecto producido por las olas durante la crecida, principalmente en árboles u otros obstáculos ubicados al interior del cauce en crecida, donde algunos desechos lanzados fuera de la corriente por acción de las olas o por efecto de la velocidad del escurrimiento, indican niveles aparentes mayores a los reales. En las laderas, en cambio, se puede apreciar directamente sobre el suelo el nivel alcanzado por las aguas, debido a que el efecto de las olas es leve, producto de las velocidades relativamente bajas que el agua lleva en las orillas. Este hecho convierte dichas marcas en información de mejor calidad que las anteriormente mencionadas.

Aunque el efecto de las olas es innegable, las trazas deben usarse tal como se encuentran, evitando efectuar ajustes de cualquier tipo, dado que es inevitable introducir subjetividades que podrían conducir a resultados de poca confiabilidad.

En el caso de encontrarse con cobertura nival en el sector afectado, es importante tener presente que las marcas dejadas por una crecida sobre la nieve no son en absoluto confiables, debido a que la parte inferior de ésta se puede haber derretido después de la crecida y antes de efectuar el levantamiento topográfico, mostrando trazas aparentes a una altura mayor a la real.

Como se expresó anteriormente, en casos importantes se pueden utilizar li9mnímetros de crecida, con muy buen resultado, aunque encarece la operación de la estación.

3.5.- MEDICIONES DE TERRENO

3.5.1.- TOPOGRAFIA

Después que el escurrimiento ha recuperado sus niveles normales, y tras la elección del tramo de medición, deberá procederse a efectuar las siguientes labores de terreno, en el mismo orden que se indica:

a) PERFIL LONGITUDINAL POR EL EJE DEL CAUCE

En primer lugar, se debe ubicar y marcar con pintura las trazas dejadas por la crecida con el objeto de determinar el eje que el escurrimiento tuvo DURANTE LA CRECIDA, el cual puede ser muy distinto al eje del escurrimiento existente al momento de efectuar el trabajo de terreno. Dependiendo de la geometría del cauce, es posible incluso que la ubicación del eje del escurrimiento en crecida varíe parcial o totalmente con la altura de agua, por lo que podría tener distintas posiciones para crecidas de distinta magnitud.

Una vez ubicado este eje, debe efectuarse su levantamiento taquimétrico, asegurándose de cubrir toda la longitud del tramo de medición seleccionado (perfil longitudinal), y siempre avanzando en el sentido del escurrimiento, de tal modo que el origen (cero) del perfil se encuentre ubicado en el extremo de aguas arriba del tramo de trabajo.

b) LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO DE LAS TRAZAS

Después de identificadas y marcadas la mayor cantidad de trazas que sea posible dentro del tramo de medición (ver 3.4), se deberá efectuar un levantamiento taquimétrico de todas

ellas, buscando líneas relativamente paralelas al eje del escurrimiento, a objeto de definir perfiles longitudinales (uno por cada ribera), necesarios para determinar la magnitud de la crecida.

c) SECCIONES TRANSVERSALES

Se debe ubicar las secciones o perfiles transversales tan cercanas entre sí como sea posible, numeradas secuencialmente (sección 1, 2, 3, ... etc.) desde aguas arriba hacia aguas abajo, formando siempre ángulo recto con la dirección del escurrimiento en crecida (en otras palabras, deben ser perpendiculares al perfil longitudinal previamente definido).

Las secciones transversales son muestras representativas de la geometría del tramo, por lo que la precisión del método dependerá de la cantidad de secciones consideradas.

En EE.UU. (U.S. Geological Survey) se recomienda tomar un mínimo de tres secciones. En el caso de nuestro país, donde los cauces normalmente presentan importantes irregularidades, es aconsejable tomar entre 5 y 10 (también pueden ser más) secciones transversales, definiendo así entre 4 y 9 sub-tramos dentro del tramo de medición.

Estos perfiles transversales deben ser lo más rectos que sea posible, aunque en ocasiones particulares puede ser necesario quebrarlos en uno o más puntos para mantener su perpendicularidad (al menos aproximada) a la dirección del flujo, y se deben levantar siempre desde la ribera izquierda hacia la ribera derecha (las riberas se denominan izquierda o derecha considerando el punto de vista de un observador que mira hacia aguas abajo).

La longitud de cada perfil transversal debe ser tal que la sección ocupada por el agua durante la crecida quede totalmente definida, como se ilustra en la figura 4.

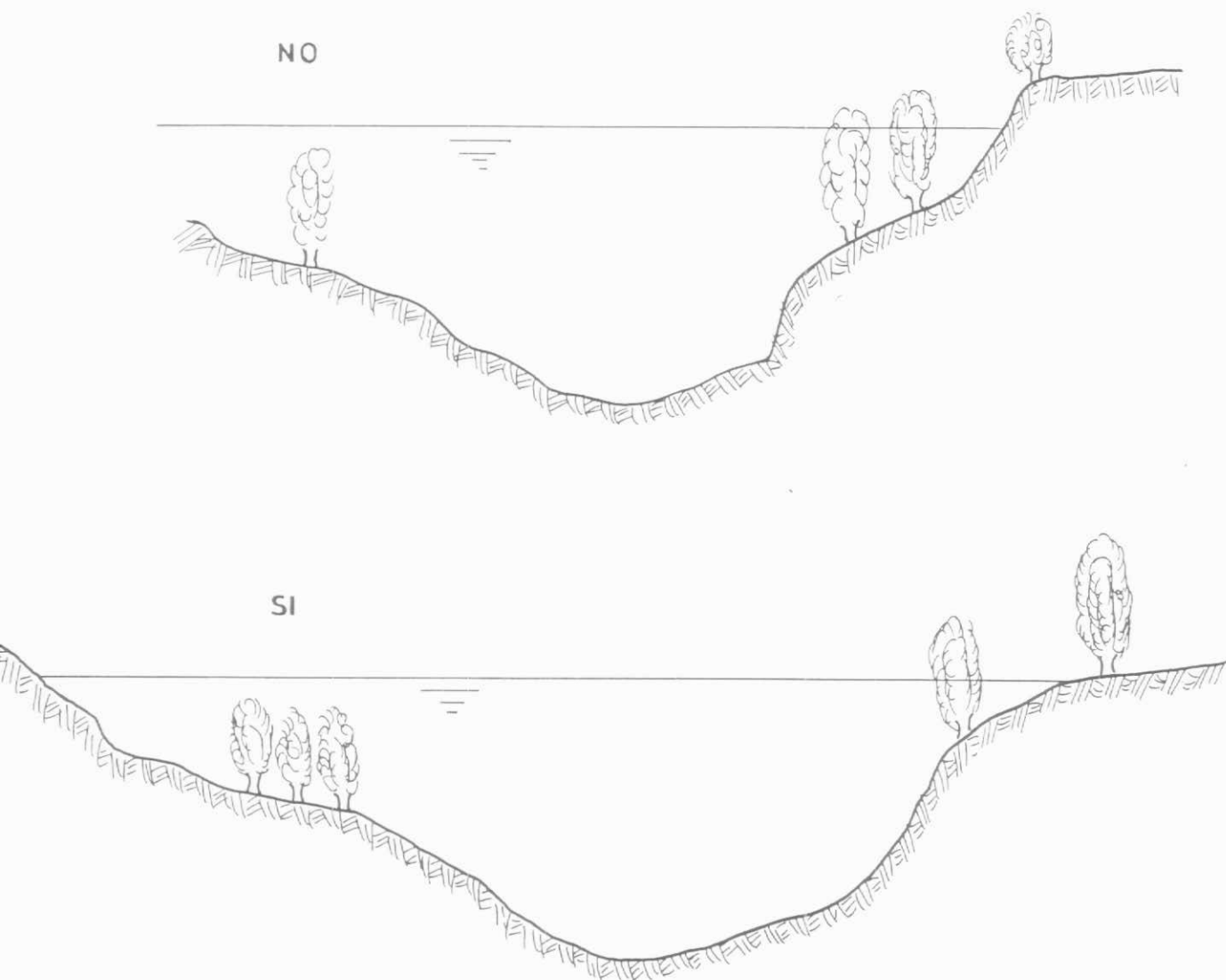


Figura 4
sección transversal completa

Por otra parte, se debe recordar que el método de área-pendiente considera escurrimiento uniforme entre dos secciones consecutivas, lo que no se cumplirá en caso de existir importantes variaciones de forma dentro de un sub-tramo, por lo cual se debe ubicar una sección transversal en cada cambio significativo de la geometría del cauce, ya sea de las riberas o del fondo.

Además, se debe considerar en el levantamiento de cada perfil transversal, las trazas ubicadas en ambas riberas del cauce, incluyendo aquellas que, aunque no pertenezcan realmente a la sección, se encuentren suficientemente cercanas (se recomienda una distancia de hasta la décima parte de la separación entre dos secciones consecutivas; por lo tanto si hay perfiles transversales cada 50 metros, por ejemplo, se puede incluir trazas de hasta 5 metros hacia cada lado). Lo anterior tiene por objetivo definir, para cada sección levantada, el nivel que el agua alcanzó durante la crecida.

Evidentemente en la libreta taquimétrica se debe incluir un croquis de cada situación, acompañado de abundantes anotaciones relativas a todos los detalles que sea importante considerar.

Adicionalmente, es aconsejable tomar fotografías del tramo seleccionado, a objeto de contar con un adecuado apoyo visual a la posterior evaluación global de los parámetros hidráulicos relevantes en el cálculo del caudal máximo de la crecida.

3.5.2.- RECOPIACION DE ANTECEDENTES PARA LA POSTERIOR DETERMINACION DE LA RUGOSIDAD DEL CAUCE.

En primer lugar, es necesario tener presente que si se ha recurrido al uso de este método de determinación indirecta del caudal máximo de una crecida, lo más probable es que se haya producido una inundación importante, rebasando el lecho del río.

Por otra parte, y como se verá en el punto 3.6, cabe destacar que uno de los parámetros fundamentales de los cuales depende el cálculo del caudal, es la rugosidad del cauce en crecida, es decir el que el agua efectivamente ocupó.

En consecuencia, en aquella gran cantidad de casos en que el escurrimiento ha excedido el lecho del curso natural del agua, se deberá proceder a determinar la rugosidad de cada una de las distintas subsecciones en que corresponda dividir cada sección transversal previamente elegida y levantada topográficamente, a objeto de contar con la mayor exactitud posible en los datos a utilizar en los cálculos hidráulicos posteriores.

Además de lo anterior, se recomienda encarecidamente tomar fotografías que respalden y complementen todo el trabajo de terreno, resultando de gran ayuda para el posterior trabajo de oficina.

Se entrega a continuación algunas herramientas que seguramente serán de gran ayuda tanto en la elección de subsecciones como en la determinación de los correspondientes coeficientes de rugosidad.

a) DEFINICION DE SUBSECCIONES

a.1) INTRODUCCION

A partir de las trazas encontradas en terreno, se puede tener una idea preliminar de la altura alcanzada por las aguas durante la crecida a lo largo del tramo de medición.

Es posible saber, en consecuencia, al menos en forma aproximada para cada sección transversal, si el cauce ocupado fue o no mayor que el lecho del río.

En aquellos casos en que se pueda constatar que el escurrimiento haya rebasado el lecho, y éste sea de naturaleza distinta a la de las riberas, se deberá proceder a dividir la sección en al menos tres partes (ribera izquierda, lecho y ribera derecha), para la posterior definición de subsecciones, conforme a lo ilustrado en la figura 5.

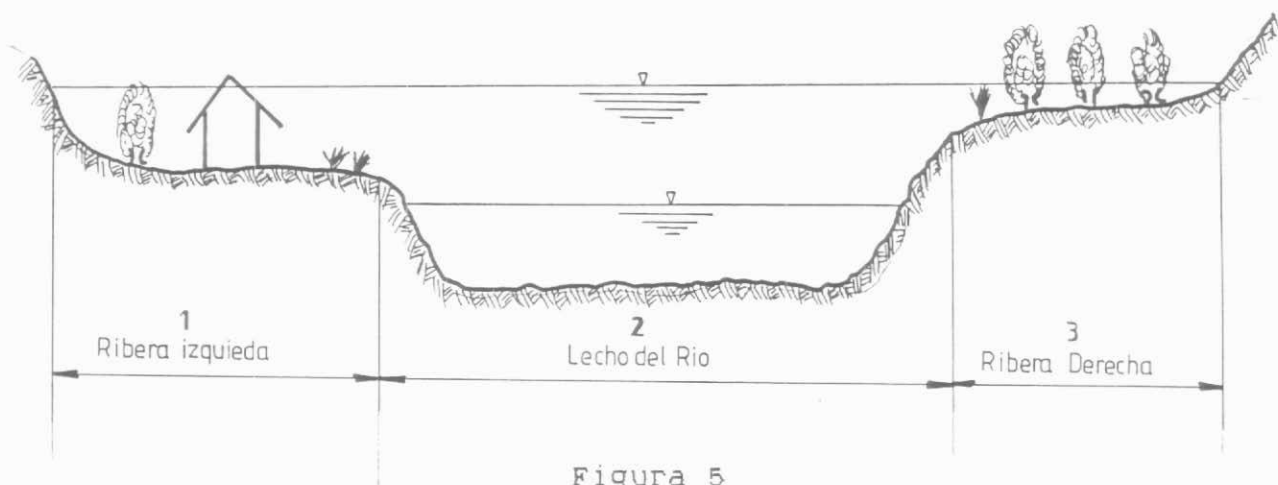


Figura 5

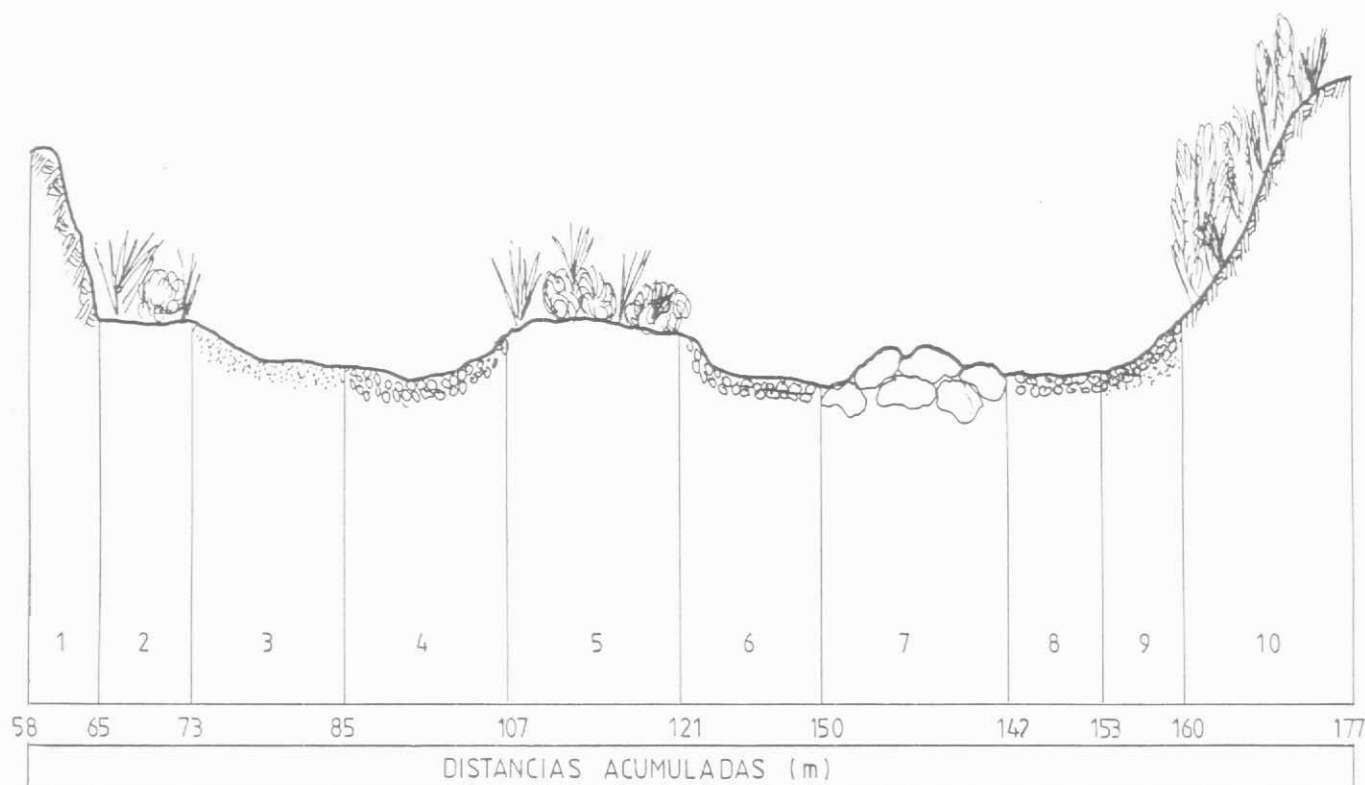
División mínima de una sección transversal en caso de inundación de riberas.

a.2) LECHO DEL RIO

Por tratarse del cauce normalmente ocupado por las aguas, el lecho es durante una crecida (salvo tramos relativamente cortos en que el escurrimiento define un nuevo lecho, erosionando terrenos generalmente agrícolas), la parte más importante del cauce, por la que escurre la mayor parte del caudal que produjo la inundación, correspondiendo en consecuencia tratarlo separadamente.

Para dividir el lecho en subsecciones, se deberá considerar tanto la geometría de la sección como los distintos elementos que definen rugosidades distintas, pero en esta etapa de terreno sólo se considerará este último criterio, dejando la división por geometría para más adelante, a partir del levantamiento topográfico.

En consecuencia, se deberá dividir el lecho en pequeños tramos, registrando las distancias acumuladas (medidas desde el cero de la sección transversal) que definen el inicio y término de cada uno de ellos, describiendo brevemente el tipo de superficie del lecho, así como la posible cobertura vegetal o de cualquier otro tipo, como se muestra en el ejemplo siguiente:



EJEMPLO:

- | | |
|--|--|
| 1: Roca natural. | 7: Material granular de tamaño grueso a medio. |
| 2: Matorrales y argustos. | 8: Material granular de tamaño medio a fino. |
| 3: Playa de arena gruesa. | 9: Playa de arena fina. |
| 4: Material granular. | 10: Matorrales y arbustos |
| 5: Matorrales y malezas. | |
| 6: Material granular de tamaño medio a fino. | |

a.3)

RIBERAS

Básicamente, el caso de la división de la sección transversal en las riberas inundadas es bastante similar al del lecho del río, pero los elementos característicos de cada subsección serán algo distintos, ya que estarán conformados por zarzas, matorrales, arbustos, pastizales, cultivos de temporada (hortalizas, legumbres, etc.), árboles

frutales (generalmente se ubican en líneas paralelas, y relativamente separados entre sí), bosques, construcciones, caminos, parques, campos deportivos, etc., abarcando toda la longitud de la sección inundada.

Al igual que en el caso del lecho del río, se deberá registrar todas las distancias acumuladas (o los puntos del perfil transversal, en caso de coincidir con alguno(s) de ellos que marcan el inicio y término de cada subsección definida en terreno.

b DESCRIPCION CUALITATIVA DEL TRAMO DE MEDICION ELEGIDO.

Esta descripción se usará como base para la posterior determinación del coeficiente de rugosidad correspondiente a cada subsección definida, el cual depende de cada uno de los factores indicados más adelante, por lo que resulta necesario caracterizar el cauce lo mejor posible usando los siguientes criterios:

b.1) Definición del material que conforma el cauce.

Cauce en: - Tierra
 - Roca
 - Grava fina
 - Grava gruesa

b.2) Grado de irregularidad superficial del cauce.

Cauce: - Parejo (irregularidad despreciable)
 - Irregularidad leve
 - Irregularidad moderada
 - Irregularidad alta

b.3) Variaciones de forma y tamaño de la sección transversal a lo largo del cauce.

- Cambios:
- Graduales
 - Ocasionales (alternándose ocasionalmente)
 - Frecuentes (alternándose frecuentemente).

b.4) Obstrucciones formadas por material de arrastre

- Obstrucciones:
- De efecto despreciable
 - De efecto leve
 - De efecto apreciable
 - De efecto alto.

b.5) Densidad de vegetación

- Densidad:
- Baja
 - Media
 - Alta
 - Muy alta

b.6) Tortuosidad del cauce o Frecuencia de Meandros

Determinar valores de:

-) Longitud del tramo recto : L_s
-) Longitud del tramo con meandros (*) : L_m

Frecuencia de meandros:

(ver figura 6)

L_m/L_s

- | | | |
|---------------|---|-----------------|
| | | ----- |
| - leve | : | entre 1,0 y 1,2 |
| - Apreciable: | | entre 1,2 y 1,5 |
| - Alto | : | mayor que 1,5 |

Nota (*): El tramo con meandros debe corresponder al cauce en crecida sólo en el caso en que éste haya presentado dichas irregularidades durante dicha crecida. De ningún modo corresponde a la tortuosidad del cauce en épocas normales, por cuanto este último seguramente presenta una longitud mucho mayor que la real.

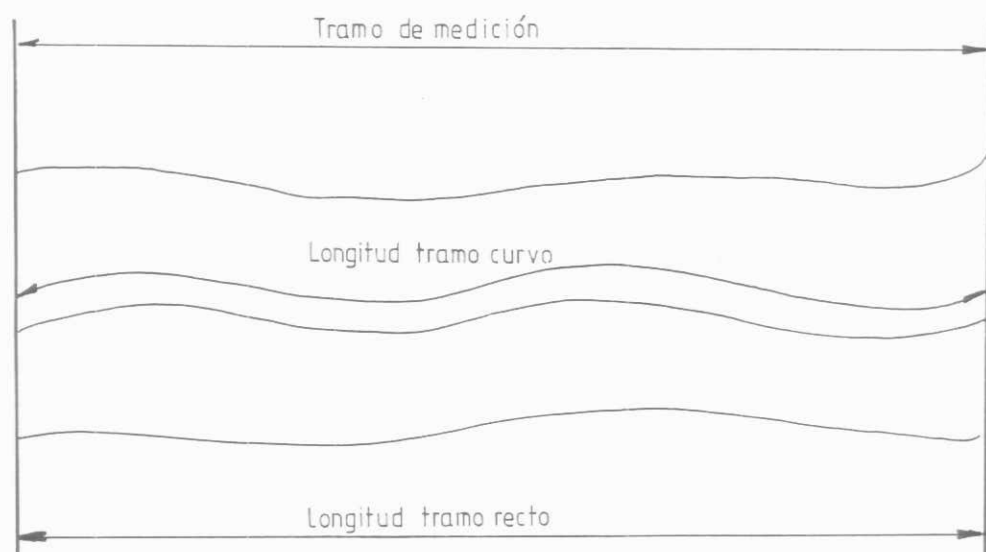


Figura 6.
Longitudes de tramos recto y curvo en crecida.

Por otra parte, se deberá anotar todo aquello que caracterice las riberas que hayan resultado inundadas durante la crecida, describiendo los elementos representativos de cada tramo dentro de cada sección (zarzas, matorrales, arbustos, pastizales, cultivos de temporada, árboles frutales, bosques nativos, bosques madereros, construcciones, caminos, parques, campos deportivos, etc.).

G) DETERMINACION DE LOS TAMAÑOS REPRESENTATIVOS DE LECHOS GRANULARES.

Deberá determinarse, lo mejor posible, los siguientes tamaños representativos de lechos granulares, los que serán de gran utilidad para el posterior trabajo de oficina:

-) D : Diámetro característico (m)
-) D65 : Diámetro tal que por un tamiz de su tamaño pasa el 65% del material del lecho del río.
-) D90 : Diámetro tal que por un tamiz de su tamaño pasa el 90% del material del lecho del río.

3.6.- DETERMINACION DE LA RUGOSIDAD DEL CAUCE.

3.6.1.- INTRODUCCION

Después de la elección del tramo de medición, la estimación del valor del coeficiente de rugosidad posiblemente sea el factor más importante para lograr una buena estimación del caudal máximo de una determinada crecida.

Conforme a lo indicado anteriormente, lo más probable es que una crecida importante haya ocupado no sólo su lecho habitual, sino que también sus riberas, al menos en forma parcial.

En consecuencia, se debe determinar la rugosidad de la sección completa, incluyendo tanto el lecho como las riberas, recordando que la parte más importante del cauce, aún en crecida, será siempre el lecho del río, salvo en el caso de algunos tramos muy especiales y relativamente cortos, bajo condiciones también muy especiales.

Finalmente, es importante explicar que en este punto se usará indistintamente los términos "coeficiente de rugosidad" o "n", considerándolos equivalentes.

3.6.2.- FACTORES QUE AFECTAN EL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD

Cuando se intenta representar la dinámica del escurrimiento de un caudal cualquiera a lo largo de un determinado tramo de un cauce, se debe buscar la mayor similitud con la realidad.

De este modo, se deberá determinar las condiciones de terreno que definen el escurrimiento, como por ejemplo la pendiente longitudinal, la geometría de las secciones transversales y por supuesto, la aspereza o rugosidad del cauce que el agua enfrenta al avanzar. Ciertamente el agua avanzará más rápido sobre un lecho liso que sobre uno rugoso.

En consecuencia, es muy importante que la evaluación de este "coeficiente de rugosidad" sea efectuada por una persona con alguna experiencia al respecto, o al menos por una que proceda con gran esmero y cariño por su trabajo.

Se presenta a continuación un resumen de los factores que influyen sobre el coeficiente de rugosidad final o global, el que considera la suma de los efectos parciales:

- Rugosidad superficial
- Vegetación
- Irregularidad del cauce
- Alineamiento del cauce.
- Erosión y sedimentación
- Obstrucciones.
- Altura de agua y caudal circulante
- Variación estacional.

En el punto siguiente se analiza cada uno de estos factores por separado.

a) RUGOSIDAD SUPERFICIAL

Esta es una medida de la aspereza del cauce que podríamos denominar "de piel", debido a que representa numéricamente el tamaño, la forma y la distribución tanto a las pequeñas irregularidades (caso de taludes o fondo constituido por roca) como de las partículas que conforman el perímetro mojado, y que dificultan el escurrimiento. Indudablemente, éste es uno de los factores más importantes para determinar el coeficiente de rugosidad global.

En términos generales, las partículas finas (arena, limo, arcilla, etc.) se encuentran asociadas a bajos valores del coeficiente de rugosidad, mientras que las partículas gruesas (grava, bolones, etc.) a valores altos.

Normalmente, las partículas gruesas o grandes se ubican en el fondo del lecho, haciéndolo más rugoso que las orillas.

b) VEGETACION

La vegetación podría ser calificada como un tipo de rugosidad superficial, pero se considera separadamente debido a que su naturaleza es distinta a la que define la rugosidad superficial, además de las variaciones que presenta en el tiempo. El efecto sobre el escurrimiento depende principalmente de la altura, densidad, distribución y tipo de vegetación existente.

Es importante destacar que la existencia de árboles relativamente jóvenes con troncos de diámetros de 15 a 20 centímetros, y sin ramas que afecten el escurrimiento, ubicados en las orillas de un lecho, producirán una rugosidad mucho más

baja que la correspondiente a arbustos y matorrales bajos ubicados en la misma posición.

c) IRREGULARIDAD DEL CAUCE.

La irregularidad del cauce comprende las variaciones tanto del perímetro mojado como del tamaño y forma de la sección mojada a lo largo del cauce.

En lechos naturales, dichas irregularidades corresponden generalmente a la presencia de bancos de arena, ondas sedimentarias, "montes" y depresiones naturales del fondo, etc., las que evidentemente aumentan la aspereza del cauce.

En general, los cambios graduales en la forma y tamaño de la sección mojada afectarán muy levemente el valor de n , el que sí se verá aumentado si dichas variaciones son bruscas, o si el escurrimiento presenta una marcada sinuosidad.

d) ALINEAMIENTO DEL CAUCE

Una curvatura suave con un gran radio tendrá un efecto muy leve sobre el valor de n , mientras que las curvaturas bruscas lo aumentarán más, especialmente si se trata de curvas sucesivas, con un comportamiento similar al de los meandros.

Estos efectos son poco significativos en el caso de escurrimientos con bajas velocidades, pero en el caso de nuestro país los ríos, esteros y quebradas presentan generalmente pendientes fuertes, por lo que las velocidades en crecida serán altas, y en consecuencia el efecto producido por el alineamiento del cauce sobre el valor de n es importante.

e) SEDIMENTACION Y EROSION

En términos generales, la sedimentación puede tanto emparejar un cauce con abundantes depresiones y hoyos en su lecho, disminuyendo su rugosidad, o bien aumentarla mediante la formación de irregulares bancos de arena y otros materiales transportados por el agua. El principal efecto, sin embargo, es este último.

Igualmente, la erosión puede producir ambos efectos, aunque el que generalmente se presenta es el de aumentar la rugosidad al socavar el lecho de modo desuniforme, dejando una superficie irregular y áspera como resultado.

f) OBSTRUCCIONES

La presencia de pilas de puentes o construcciones de cualquier otro tipo, grupos de grandes elementos arrastrados por las aguas y atascados en cualquier irregularidad del cauce, o cualquier otro tipo de impedimento al escurrimiento durante una crecida, aumentará la rugosidad. La magnitud de este efecto dependerá de la naturaleza de las obstrucciones, como también de su cantidad, forma, tamaño y distribución.

g) ALTURA DE AGUA Y CAUDAL CIRCULANTE

En el lecho de un río, la rugosidad suele ser alta para bajos niveles de agua, mientras que durante una crecida, con altos niveles de agua, el valor de n puede bajar considerablemente.

En las riberas, la rugosidad será generalmente mayor que

en el lecho, dependiendo del tipo de cobertura vegetal y asentamiento humano existente.

A medida que aumenta la altura de agua (o el caudal), nuevos tramos de la sección van siendo incorporados al perímetro mojado, cada uno con su rugosidad correspondiente, la que generalmente aumenta a medida que aumenta la distancia desde el lecho del cauce.

En consecuencia, el valor global de n va aumentando progresivamente a medida que se inundan las orillas del lecho y luego las riberas, hasta completar la sección mojada.

h) VARIACION ESTACIONAL

Producto especialmente del crecimiento de plantas acuáticas, matorrales, arbustos y malezas ubicadas en el lecho o en las orillas del cauce, el valor de n puede aumentar fuertemente durante el período de crecimiento (primavera-verano), para volver a disminuir en el invierno siguiente.

También varía el régimen de arrastre de sedimentos, así como otros factores debido al cambio estacional, como el uso de terrenos ribereños para cultivos de temporada. Todo lo anterior afecta la rugosidad del cauce.

3.6.3.- VALORES ADOPTADOS POR EL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD.

Todos los factores mencionados en el punto anterior afectan el valor del coeficiente de rugosidad, y a partir de ellos, Cowan en 1956 propuso un procedimiento para estimar el

valor de n , consistente en asignar una rugosidad independiente para cada uno de los factores más relevantes (los primeros seis de los ocho mencionados), procediendo posteriormente a sumar los primeros cinco, para finalmente ponderar dicha suma por un coeficiente " m " que representa al sexto de dichos factores.

A partir de la evaluación cualitativa efectuada en el punto 3.5.2 (b), la tabla 3 contiene los valores correspondientes a las distintas componentes del coeficiente de rugosidad, obtenidos a partir de un procedimiento normalizado por el Centro de Recursos Hídricos de la Universidad de Chile:

Tabla 3
ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD
DE MANNING SEGUN METODO DE COWAN

Expresión General: $n = m(n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)$

CONDICIONES DEL CAUCE		V A L O R	
MATERIAL	- Tierra	n_0	0.020
	- Roca		0.025
	- Grava fina		0.024
	- Grava gruesa		0.028
GRADO DE IRREGULARIDAD	- Despreciable	n_1	0.000
	- Leve		0.005
	- Moderado		0.010
	- Alto		0.020
VARIACIONES DE LAS SECCIONES A LO LARGO DEL CAUCE	- Graduales	n_2	0.000
	- Alternándose gradualmente		0.005
	- Alternándose frecuentemente		0.010-0.015
EFECTO RELATIVO DE LAS OBSTRUCCIONES	- Despreciable	n_3	0.000
	- Leve		0.010-0.015
	- Apreciable		0.020-0.030
	- Alto		0.040-0.060
DENSIDAD DE VEGETACION	- Baja	n_4	0.005-0.010
	- Media		0.010-0.025
	- Alta		0.025-0.050
	- Muy alta		0.050-0.100

FRECUENCIA DE	- Leve	m	1.000
MEANDROS	- Apreciable		1.150
	- Alto		1.300

A modo de resumen, se presenta a continuación (tabla 4) un listado de varios tipos de cauces naturales y áreas de inundación, con sus respectivas rugosidades totales, entregando para cada una de ellas un valor mínimo, un valor medio (denominado "normal"), y un valor máximo. Se recomienda usar el valor normal.

TABLA 4

VALORES DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD
PARA CAUCES NATURALES Y ZONAS DE INUNDACION

DESCRIPCION	VALOR		
	MINIMO	NORMAL	MAXIMO
A) CAUCES MENORES (ancho superficial menor o igual a 30 metros)			
A.1) Cauces ubicados en valles y zonas de baja pendiente.			
1. Rectos, profundos, limpios de vegetación y sin pozas.	0.025	0.030	0.033
2. Igual al anterior, pero con algunas malezas y piedras importantes	0.030	0.035	0.040

3.	Limpios, sinuosos, con algunas pozas y sectores de poca profundidad.			0.033
	0.040	0.045		
4.	Igual al anterior, pero con algunas malezas y piedras importantes.	0.035	0.045	0.050
5.	Igual al anterior, pero con pendientes y secciones menos efectivas, y de poca profundidad.	0.40	0.48	0.055
6.	Igual que 4, pero con más piedras.	0.045	0.050	0.060
7.	De baja pendiente, enmale- zados, y con pozas profundas	0.050	0.070	0.080
8.	Muy enmalezados, con pozas profundas, con muchos arbustos y árboles estables (firmes)	0.075	0.100	0.150

A.2) CAUCES MONTAÑOSOS, con riberas
de pendientes generalmente
fuertes, sin vegetación en el
lecho, pero con árboles y
arbustos en las riberas, las
que se inundan durante las
grandes crecidas.

1.	Lecho de grava, conglomerados y algunos bolones.	0.030	0.040	0.050
2.	Lecho de conglomerados y grandes bolones.	0.040	0.050	0.070

B) RIBERAS INUNDADAS

B.1) PASTIZALES, libres de
matorrales y malezas.

1.	Pasto corto	0.025	0.030	0.035
2.	Pasto largo	0.030	0.035	0.050

B.2) AREAS CULTIVADAS

1.	Sin cultivos (terrenos arados, o limpios des- pués de la cosecha)	0.020	0.030	0.040
2.	Con cultivos maduros, ordenados en hileras	0.025	0.035	0.045
3.	Con cultivos maduros, sin un orden establecido.	0.030	0.040	0.050

B.3) MATORRALES Y MALEZAS

1.	Matorrales dispersos, con abundancia de malezas	0.035	0.050	0.070
2.	Pocos matorrales y árboles en invierno	0.035	0.050	0.060

3.	Pocos matorrales y árboles, en verano.	0.040	0.060	0.080
4.	Densidad de matorrales de media a alta, en invierno	0.045	0.070	0.110
5.	Densidad de matorrales de media a alta, en verano	0.070	0.100	0.160

B.4) ARBOLES

1.	Alta densidad de mimbreras rectas, en verano.	0.110	0.150	0.200
2.	Terrenos despejados, con troncos y cepas de árboles cortados, sin brotes	0.030	0.040	0.050
3.	Igual que el anterior, pero con fuerte crecimiento de brotes y retoños.	0.050	0.060	0.080
4.	Abundancia de bosques made- reros, con escasos matorrales y malezas; Altura de agua durante la crecida no alcan- zó las ramas de los árboles	0.080	0.100	0.120
5.	Igual al anterior, pero la altura de agua en cre- cida si alcanzó las ramas	0.100	0.120	0.160

C) CAUCES MAYORES (ancho superficial superior a 30 metros)
(*)

C.1) SECCION TRANSVERSAL REGULAR,
sin bolones ni matorrales 0.025 0.035 0.060

C.2) SECCION TRANSVERSAL
IRREGULAR y escabrosa 0.035 0.070 0.100

(*): El valor del coeficiente de rugosidad es menor que el de cauces menores, de igual descripción, debido a que las orillas y riberas ofrecen una menor resistencia efectiva al escurrimiento.

3.7.- CALCULOS HIDRAULICOS

3.7.1.- INTRODUCCION

En este punto se presentará un resumen de los factores que constituyen la base para los cálculos hidráulicos, incluyendo la forma de obtenerlos, para posteriormente proceder a la determinación matemática del caudal máximo en crecida, finalizando con algunos criterios que permiten evaluar los resultados obtenidos.

3.7.2.- FACTORES RELEVANTES PARA EL CALCULO DEL CAUDAL MAXIMO EN CRECIDA.

En primer lugar, cabe destacar que como este método se basa en los niveles de agua alcanzados por el escurrimiento durante la crecida, es importante ubicar en dos perfiles longitudinales las trazas encontradas, uno por cada ribera del cauce.

Lo anterior permite, para una persona con alguna experiencia, desechar los puntos que no son representativos, para finalmente definir la(s) altura(s) de agua para cada sección transversal.

a) DESNIVEL DEL EJE HIDRAULICO, (Δh).

Lo más probable es que dentro de una misma sección transversal, las trazas indiquen diferencias entre los niveles máximos registrados en cada ribera.

Para efectos del cálculo de la pendiente del eje hidráulico, se puede trabajar con el valor medio de dichos niveles, pero conservando siempre los valores originales, puesto que es posible que la crecida efectivamente haya producido más de un nivel de agua dentro de una misma sección transversal, hecho que puede tener más de una explicación desde el punto de vista de la hidráulica.

En aquellos casos en que se pueda constatar que efectivamente hubo distintos niveles de agua dentro de una misma sección transversal, se puede obtener el nivel representativo calculando un promedio ponderado de acuerdo al factor de conducción (ver 3.7.2. (d)) de cada subsección que presente un distinto nivel de agua. El desnivel del eje hidráulico, h , se mide en metros.

b) LONGITUD DEL TRAMO DE MEDICION Y LONGITUDES PARCIALES ENTRE SECCIONES TRANSVERSALES CONSECUTIVAS.

La longitud del tramo de medición fue tratada en el punto 3.3.7.

Sin embargo, resulta conveniente establecer las siguientes consideraciones importantes, respecto de las cuales se debe tener siempre presente que se está haciendo referencia al escurrimiento DURANTE LA CRECIDA, el que puede ser bastante distinto al encontrado al efectuar el trabajo de terreno:

- Para un tramo recto o marcadamente recto, se mide la longitud de centro a centro de dos secciones consecutivas, sobre el plano de planta previamente dibujado. En esta etapa resultan de gran ayuda todas las medidas posibles tomadas directamente en terreno, para efectos de confirmar valores.
- Para tramos curvos y con profundidades aproximadamente uniformes (en otras palabras, secciones transversales aproximadamente rectangulares), se mide la longitud de los subtramos curvos por el eje del cauce.
- Para tramos con el cauce principal ubicado fuera del centro, ya sea cargado a una de las orillas o divagante (con meandros), se mide la longitud siguiendo una línea que une los centros de las partes más profundas de cada par de secciones transversales consecutivas.

La longitud de cada subtramo, L_i , se mide en metros.

c) AREA DE LA SECCION MOJADA

El área o superficie de la sección mojada se determina para cada sección transversal, a partir del nivel de agua obtenido del perfil longitudinal, previamente definido, y se mide en m^2 .

d) FACTOR DE CONDUCCION

Como se recordará, este factor se definió en el punto 3.2, como:

$$K = \frac{A R^{(2/3)}}{n}$$

Donde:

A : Area de la sección mojada, (m²)

R : Radio hidráulico (m); $R=A/P_m$

P_m: Perímetro mojado (m).

n : Coeficiente de rugosidad, adimensional.

Se debe calcular un valor del factor de conducción para cada sección transversal.

e) COEFICIENTE DE CORIOLLIS

El coeficiente de corrección de altura de velocidad por efecto de Coriollis (conocido como "Coeficiente de Coriollis"), se define, para una sección subdividida en varias sub-secciones independientes, como:

$$\alpha = \frac{\sum [(K_i)^3 / (A_i)^2]}{(K_t)^3 / (A_t)^2}$$

donde el subíndice "i" indica que se trata del factor de conducción y el área (de la sección mojada) de cada una de las subsecciones definidas, mientras que el subíndice "t" indica que se trata del factor de conducción y el área de la sección total.

En aquellos casos en que el escurrimiento dentro de una sección no se haya subdividido, se supondrá que vale 1,0.

3.7.3.- CALCULO DEL CAUDAL MAXIMO EN CRECIDA

a) INTRODUCCION

Conforme a lo indicado en el punto 3.2, el cálculo se basa en la aplicación de la ecuación de Manning, que define escurrimiento normal. Se recordará que dicha ecuación, expresada en términos de caudal, es la siguiente:

$$Q(m^3/s) = \frac{A R^{(2/3)} J^{(1/2)}}{n}$$

Donde:

Q : Caudal

A : Area de la sección mojada, (m²).

R : Radio hidráulico (m); $R=A/P_m$.

P_m: Perímetro mojado (m).

J : Pendiente por fricción, adimensional

n : Coeficiente de rugosidad, adimensional.

A falta de una mejor solución, se supone como válida la ecuación de Manning también para escurrimiento no uniforme, caso habitual en cauces naturales.

En la figura 7 se muestra un tramo de medición no uniforme entre las secciones transversales 1 y 2.

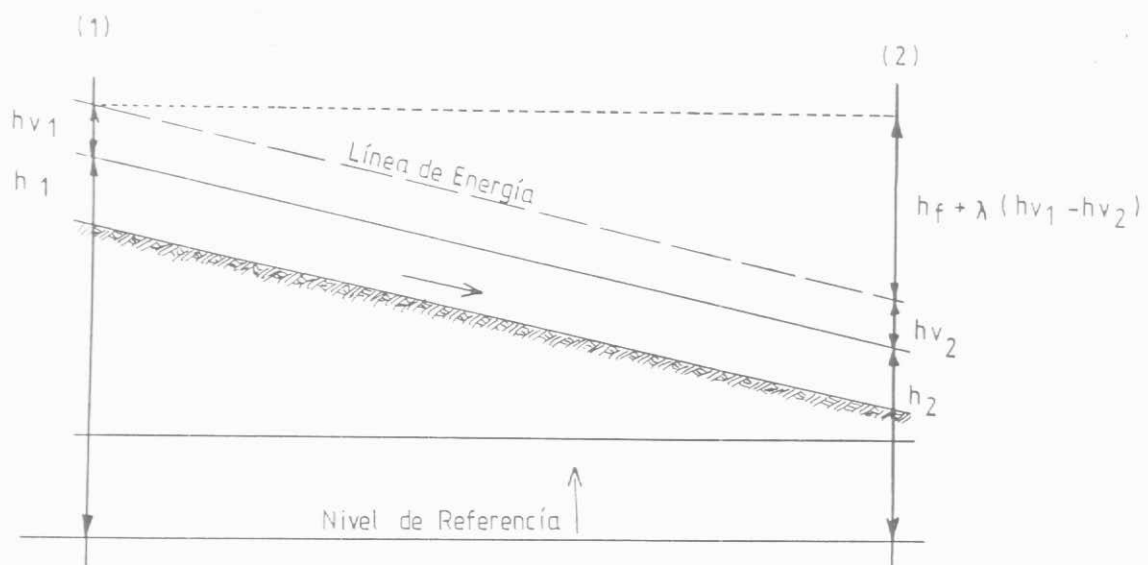


Figura 7

Tramo de medición no uniforme entre secciones 1 y 2

Donde:

-) h_1 = altura de agua en la sección 1
-) h_2 = altura de agua en la sección 2,
ambas medidas desde un mismo nivel
de referencia.
-) $h_{v1} = \alpha_1 v_1^2 / (2g)$ = altura de velocidad en la sección
1 (definida en el punto 3.3.7
(a)).
-) $h_{v2} = \alpha_2 v_2^2 / (2g)$ = altura de velocidad en la sección
2.
-) α = coeficiente de Coriolis, definido en el punto
3.7.2 (e).
-) $\Delta h_{f,1,2}$ = pérdidas de energía por roce
dentro del tramo.
-) $\lambda(hv_1 - hv_2)$ = pérdidas de energía por
aceleraciones o desaceleraciones
producto de contracciones o
expansiones dentro del tramo de
medición; λ es un coeficiente que
representa el tipo de contracción
o expansión.

A partir de la ecuación de la energía, se puede demostrar que la pendiente por fricción, J , a usar en la ecuación de Manning, corresponde a:

$$J = \frac{(h_1 - h_2) + (h_{v1} - h_{v2})/2}{L} \quad , \text{ si } v_1 > v_2$$

y:
$$J = \frac{(h_1 - h_2) + (h_{v1} - h_{v2})}{L} \quad , \text{ si } v_1 < v_2$$

Recordando que se definió el factor de conducción como:

$$K = \frac{A R^{(2/3)}}{n}$$

(ver 3.7.2 (d)), el caudal circulante a través de cada sección transversal queda expresado como:

$$Q = K J$$

Como lo que realmente interesa es el caudal en el tramo y no en una sección en particular, se debe determinar un factor de conducción representativo del tramo, calculando el promedio geométrico entre los factores de conducción obtenidos para las secciones 1 y 2 (se define el promedio geométrico entre a y b como $\sqrt{ab}$):

$$K = \sqrt{k_1 k_2}$$

En consecuencia, el caudal queda expresado por la ecuación:

$$Q = \sqrt{K_1 K_2} J$$

b) EXPRESION MATEMATICA PARA EL CALCULO DEL CAUDAL

A partir de las relaciones presentadas en el punto anterior (3.7.3 (a)), se llega a la ecuación general para el cálculo del caudal presentada a continuación:

-) Para dos secciones transversales:

$$Q = K_2 \sqrt{\frac{\Delta h}{\frac{K_2^2}{K_1} L_{1,2} + \frac{K_2^2}{2gA_2^2} \left[-\sigma_1 \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 (1-k) + \sigma_2 (1-k) \right]}}$$

-) Para tres secciones transversales:

$$Q = K_3 \sqrt{\frac{\Delta h}{\frac{K_3^2}{K_1} L_{1,2} + L_{2,3} + \frac{K_3^2}{2gA_3^2} \left[-\sigma_1 \left(\frac{A_3}{A_1} \right)^2 (1-k_{1,2}) + \sigma_2 \left(\frac{A_3}{A_2} \right)^2 (k_{2,3} - k_{1,2}) + \sigma_3 (1-k_{2,3}) \right]}}$$

-) Para múltiples (n) secciones transversales:

$$Q = K_n \sqrt{\frac{\Delta h}{A+B}}, \text{ donde:}$$

$$A = K_n^2 \frac{L_{1,2}}{K_1 K_2} + K_n^2 \frac{L_{2,3}}{K_2 K_3} + \dots + \frac{K_n^2 L_{(n-2), (n-1)}}{K_{(n-2)} K_{(n-1)}} + \frac{K_n^2 L_{(n-1), n}}{K_{(n-1)} K_n}$$

$$B = \frac{K_n^2}{A_n^2 2g} \left[-\sigma_1 \left(\frac{A_n}{A_1} \right)^2 (1-k_{1,2}) + \sigma_2 \left(\frac{A_n}{A_2} \right)^2 (k_{2,3} - k_{1,2}) + \sigma_3 \left(\frac{A_n}{A_3} \right)^2 (k_{3,4} - k_{2,3}) + \dots + \sigma_{(n-1)} \left(\frac{A_n}{A_{(n-1)}} \right)^2 (k_{(n-1), n} - k_{(n-2), (n-1)}) + \sigma_n (1-k_{(n-1), n}) \right]$$

c) PROCEDIMIENTO

Se debe calcular, como información básica para cada sección transversal, el factor de conducción, K , y el coeficiente de Coriolis, $\dots$

En primer lugar, haciendo uso de la ecuación correspondiente al caso de dos secciones transversales, se debe calcular el caudal correspondiente a cada uno de los subtramos definidos entre cada par de secciones transversales consecutivas. Es muy probable que los caudales así obtenidos difieran entre sí.

En segundo lugar, considerando como "supuestos" estos caudales parciales recientemente calculados, se deberá proceder a determinar, para cada subtramo, las respectivas velocidades ($V = Q/A$) y alturas de velocidad ($h_v = V^2/2g$) en cada sección, lo que permitirá obtener la pendiente por fricción, a partir de una de las dos ecuaciones presentadas en el punto 3.7.3 (a).

Luego, la pendiente por fricción recién calculada, se debe ingresar en la ecuación de Manning ($Q = K_1 K_2 J$), para determinar un caudal "calculado", el que debe ser igual al "supuesto". En caso de no ser así, significa que en alguna parte del procedimiento se produjo un error matemático.

Este procedimiento provee de un sistema de revisión, previo al cálculo del caudal final, y asegura la transformación de energía y pérdidas de energía de una sección a otra.

Finalmente, se debe usar la ecuación correspondiente a la cantidad de secciones que el tramo realmente tiene, para calcular el caudal máximo de la crecida, a partir del cual se

puede proceder a determinar las velocidades medias, para cada una de las secciones existentes dentro del tramo de medición. Dichas velocidades deben mostrar consistencia con la apariencia del terreno después de pasada la crecida.

Para posteriores cálculos más detallados, como por ejemplo las velocidades parciales correspondientes a las distintas subsecciones dentro de cada sección transversal, se deberá contar con un programa computacional como el denominado "SLOPEAREA", el que fue desarrollado en EE.UU. (publicación U.S.G.S.), y que se incluye en el Anexo 1. El Anexo 2 contiene un ejemplo de aplicación de dicho programa a la crecida de Junio de 1986 en la estación fluviométrica RIO TINGUIRIRICA EN BAJO LOS BRIONES, y corresponde a un trabajo efectuado por el Ing. Alejandro Grilli D-F en Octubre de 1989.

3.7.4.- NUMERO DE FROUDE

Después de haber determinado el caudal final, se deberá calcular el Número de Froude para cada sección transversal. El Número de Froude se define como:

$$F = \frac{V}{g \cdot h_m}$$

Donde:

-) V = velocidad media en la sección
-) h_m = profundidad media en la sección (ver 3.3.7 (a.1)).

El Número de Froude es un índice del estado del flujo en el cauce. Si el Número de Froude es menor que 1,0 el régimen

del escurrimiento será tranquilo (se denomina "Régimen de Rio"), y si es mayor que 1,0 será rápido (se denomina "Régimen de torrente, o Torrencial").

El método de área-pendiente puede ser aplicado en ambos tipos de flujo, tranquilo y rápido.

El Número de Froude correspondiente a las distintas secciones y subsecciones indicará el tipo de escurrimiento que se produjo dentro del tramo de medición durante la crecida.

3.7.5.- CAUDAL VARIABLE

Es posible que en algunos casos específicos el mejor tramo de medición incluya afluentes o bocatomas, con lo que el caudal resulta ser variable a lo largo del tramo. Es necesario en estos casos calcular primeramente el caudal aportado o extraído, mediante algún procedimiento establecido, como el propio método de área-pendiente, por ejemplo, o mediante un sistema de registro limnimétrico, si existe la posibilidad de hacerlo. En todo caso, esto complica el cálculo, por lo que se recomienda encarecidamente tratar de evitar dicha situación.

3.7.6.- EVALUACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

El caudal final determinado deberá ser examinado y evaluado de acuerdo con la información básica empleada en los cálculos hidráulicos. Si el régimen del escurrimiento cambia, dentro del tramo de medición, de tranquilo ($F < 1$) a rápido ($F > 1$) o vice-versa, significa que existe alguna causa de perturbación en la información.

Un cambio de un regimen rápido a tranquilo indica la posibilidad de ocurrencia de un resalto hidráulico dentro del tramo de medición, con pérdidas de energía no consideradas durante el cálculo, por lo que los resultados obtenidos no serán confiables.

Un cambio de un regimen tranquilo a rápido puede indicar una contracción brusca dentro del tramo, con las respectivas pérdidas de energía por contracción que obviamente no han sido consideradas en el cálculo, o bien puede indicar la presencia de una serie de rápidos, introduciendo un quiebre en la pendiente de la superficie del agua.

El examen de los perfiles de las trazas dejadas por la crecida en ambas riberas, puede conducir a la detección de caídas bruscas, por lo que los resultados obtenidos dejan de ser confiables.

Por otra parte, se puede aceptar una transición gradual de régimen tranquilo a rápido, siempre que el perfil de la superficie libre del agua no presente discontinuidades, caso en el que los resultados pueden considerarse válidos.

La consistencia en los valores obtenidos separadamente para los distintos subtramos, es un indicador de la confiabilidad de los resultados. Si la distribución de los valores correspondientes a los caudales obtenidos separadamente para los distintos subtramos muestra una dispersión superior al 25%, se deberá considerar que los resultados son pobres.

A objeto de obtener una precisión satisfactoria en los cálculos, se deberá examinar cuidadosamente otros factores, tales como una adecuada ubicación de las trazas de la crecida, la presencia de curvas dentro del tramo de medición, la

magnitud de la altura de velocidad en relación con las caídas existentes dentro del tramo, etc.

ANEXO 1

PROGRAMA COMPUTACIONAL "SLOPEAREA" PARA EL CALCULO
DEL CAUDAL MAXIMO DURANTE UNA CRECIDA POR EL METODO
DE AREA-PENDIENTE (Publicación U.S.G.S.)

PROGRAMA DE COMPUTACION SLOPEAREA

A. ENTRADA DE DATOS

1. Dato : TIT (10)

Formato : 10X, 10 A4

2. Dato : FECH (5)

Formato : 10X, 5 A4

3. Dato : IMP

Formato : 10X, 15

4. Datos NST NV(NST)

Formato : 10X, 14 I 5

5. Datos : DIST(NST)

Formato : 10X, 7 F10.3

6. PARA CADA PERFIL TRANSVERSAL

Datos : X(NST,NV) Y(NST,NV) RUG(NST,NV)

Formato : 10X, 3 F10.3

7. Datos : TOI (NST)

Formato : 10X, 7 F10.3

8. Datos : TOD (NST)

Formato : 10X, 7 F10.3

B. EXPLICACION DE LOS DATOS UTILIZADOS COMO ENTRADA

TIT (I) : Nombre del río (máximo 40 caracteres)
FECH (I) : Fecha de la crecida analizada (máx. 20 caracteres)
IMP : Control de impresión
 = 0 total
 = 1 sólo resultados finales
NST : Número de secciones transversales al cauce (máx. 10)
NV (I) : Número de vértices en la sección I
DIST (I) : Distancia en metros, de la sección I con respecto a la primera sección (acumulado hacia aguas abajo)
X(I,J) : Coordenada horizontal del vértice J en la sección transversal I (metros)
Y(I,J) : Altura del vértice J en la sección transversal I (metros). Referencia arbitraria.
RUG(I,J) : Rugosidad de Manning entre los vértices J y J+1, en sección transversal I
TOI (I) : Altura de la traza en orilla izquierda de la sección I (metros)
TOD (I) : Altura de la traza en orilla derecha de la sección I (metros).

En Anexo 2 se presenta un ejemplo de aplicación.

```

*****
METODO AREA-PENDIENTE (U.S.GEOLOGICAL SURVEY,1967)
* ESTIMACION DEL CAUDAL MAXIMO INSTANTANEO *
* UTILIZANDO LAS MARCAS DE AGUA DEJADAS POR LA CRECIDA *
* ALEJANDRO GRILLI D-F., 1988 *
*****

***** VARIABLES DE ENTRADA *****
TIT(I) : NOMBRE DEL RIO (max. 40 caracteres)
FECH(I) : FECHA DE LA CRECIDA ANALIZADA (max. 20 caract.)
IMP : CONTROL DE IMPRESION: =0 FULL, =1 RESULTADOS FINALES
NST : NUMERO DE SECCIONES TRANSVERSALES DEL CAUCE (max. 10)
NV(I) : NUMERO DE VERTICES EN LA SECCION I
DIST(I) : DISTANCIA (m) DE LA SECCION I (acumulado hacia abajo)
X(I,J) : COORDENADA HORIZONTAL DEL VERTICE J DE LA SECCION I (m)
Y(I,J) : ALTURA DEL VERTICE J DE LA SECCION I (m), REF.ARBITRARIA
RUG(I,J): RUGOSIDAD DE MANINNG ENTRE LOS VERTICES J y J+1 EN SEC.I
TOI(I) : ALTURA DE LA TRAZA EN ORILLA IZQUIERDA DE LA SECCION I
TOD(I) : ALTURA DE LA TRAZA EN ORILLA DERECHA DE LA SECCION I
*****

IMENSION NV(10),DIST(10),TOI(10),TOD(10),TRAZA(10)
IMENSION CONVEY(50),ASS(50),RHSS(50),RUGSS(50),PMSS(50),BSS(50)
IMENSION CONV(10),ALP(10),ATOT(10),PMTOT(10),RHTOT(10),BTOT(10)
IMENSION ENS(10),NSSS(10),Q(10),ARPAR(10,50),PORCQ(10,50)
IMENSION TIT(10),FECH(5),LOGO1(7),LOGO2(7),LOGO3(8),LOGO4(3)
IMENSION HVA(10),BSSS(10,50),ZM(10)
COMMON X(10,50),Y(10,50),RUG(10,50)
ATA LOGO1/'DIRE','CCIO','N GE','NERA','L DE','AGU','AS '/
ATA LOGO2/'DEPA','RTAM','ENTO',' DE ','HIDR','OLOG','IA '/
ATA LOGO3/'SUBD','EPTO',' ES','TUDI','OS H','IDRO','LOGI',
1 'COS '/
ATA LOGO4/'gril','li.1','988 '/
N=1
OUT=2
PEN(UNIT=IN,FILE='SLOPEAREA.INP',STATUS='OLD')
PEN(UNIT=IOUT,FILE='SLOPEAREA.OUT',STATUS='NEW')
** LECTURA DE DATOS **
EAD(IN,99) (TIT(I),I=1,10)
EAD(IN,99) (FECH(I),I=1,5)
EAD(IN,100) IMP
EAD(IN,100) NST,(NV(I),I=1,NST)
EAD(IN,110) (DIST(I),I=1,NST)
DO 10 I=1,NST
EAD(IN,120) (X(I,J),Y(I,J),RUG(I,J),J=1,NV(I))
CONTINUE
EAD(IN,110) (TOI(I),I=1,NST)
EAD(IN,110) (TOD(I),I=1,NST)
DO 11 I=1,NST
TRAZA(I)=(TOI(I)+TOD(I))/2.
CONTINUE
** IMPRESION DATOS ORIGINALES **
IF(IMP.NE.0) GO TO 98
WRITE(IOUT,99) (TIT(I),I=1,10)
WRITE(IOUT,99) (FECH(I),I=1,5)
WRITE(IOUT,100) NST,(NV(I),I=1,NST)
WRITE(IOUT,110) (DIST(I),I=1,NST)
DO 9 I=1,NST
WRITE(IOUT,120) (X(I,J),Y(I,J),RUG(I,J),J=1,NV(I))
CONTINUE
WRITE(IOUT,110) (TRAZA(I),I=1,NST)
FORMAT(10X,10A4)

```

```

FORMAT(10X,14I5)
FORMAT(10X,7F10.3)
FORMAT(10X,3F10.3)

```

*** CALCULO DE PROPIEDADES GEOMETRICAS ***

```

WRITE(IOUT,200) (LOGO1(I),I=1,7),(LOGO2(I),I=1,7),
1      (LOGO3(I),I=1,8),(LOGO4(I),I=1,3),(TIT(I),I=1,10),
2      (FECH(I),I=1,5)
DO 20 I=1,NST
CALL GEOMET(I,NV(I),TRAZA(I),IGU,ASS,PMSS,RUGSS,RHSS,
1      ATOT(I),PMTOT(I),RHTOT(I),BTOT(I),NSS,YMIN,BSS)
IF(IGU.LE.0) GO TO 19
WRITE(IOUT,199) I
FORMAT('***** REBALSA LA SECCION ',I3,' *****')
GO TO 1000
NSSS(I)=NSS
CONV(I)=0.
ALPHA=0.
DO 21 K=1,NSS
BSSS(I,K)=BSS(K)
ARPAR(I,K)=ASS(K)
CONVEY(K)=ASS(K)*RHSS(K)**(2./3.)/RUGSS(K)
ALPHA=ALPHA+(CONVEY(K)**3.)/(ASS(K)**2.)
CONV(I)=CONV(I)+CONVEY(K)
CONTINUE
ALP(I)=ALPHA/((CONV(I)**3.)/ATOT(I)**2.)
DO 22 K=1,NSS
PORCQ(I,K)=CONVEY(K)/CONV(I)
WRITE(IOUT,210) I,K,ASS(K),RHSS(K),CONVEY(K),RUGSS(K),PORCQ(I,K)
CONTINUE
WRITE(IOUT,220) I,ATOT(I),RHTOT(I),ALP(I)
CONTINUE

```

```

FORMAT('1',1X,7A4/2X,7A4,/2X,8A4/8X,3A4///10X,
1      'APLICACION DEL METODO AREA-PENDIENTE'/10X,'RIO ',10A4/10X,
2      'FECHA CRECIDA: ',5A4//2X,
3      'SEC SUBSEC AREA(m2) RAD.HIDR.(m) COND.HIDR. RUGOSIDAD',
4      ' ALPHA Qsubsec/Qsec'/)
FORMAT(2X,I3,2X,I3,1X,F10.3,4X,F10.5,1X,F10.3,4X,F6.3,8X,F6.3)
FORMAT(2X,I3,' TOTAL ',F10.3,4X,F10.5,22X,F6.3/)

```

*** PERDIDAS DE CARGA POR ENSANCHAMIENTO ***

```

NFIN=NST-1
DO 29 I=1,NFIN
HVA(I)=ALP(I)/ATOT(I)**2.-ALP(I+1)/ATOT(I+1)**2.
ENS(I)=0.
IF(HVA(I).GE.0.) ENS(I)=0.5
CONTINUE

```

*** CAUDALES ENTRE DOS SECCIONES SUCEASIVAS ***

```

DO 30 I=1,NFIN
Q(I)=CONV(I+1)*SQRT((TRAZA(I)-TRAZA(I+1))/((DIST(I+1)-DIST(I))*
1      CONV(I+1)/CONV(I)+(CONV(I+1)**2.)*(-1*ALP(I)*((ATOT(I+1)/
2      ATOT(I))**2.)*(1.-ENS(I))+ALP(I+1)*(1.-ENS(I)))/(2.*9.81*
3      ATOT(I+1)**2.)))
CONTINUE

```

*** CAUDAL TOTAL ***

```

A=0.
B=0.
DO 40 I=2,NST
A=A+(DIST(I)-DIST(I-1))*(CONV(NST)**2.)/(CONV(I)*CONV(I-1))
IF(I.EQ.NST) GO TO 40
B=B+ALP(I)*((ATOT(NST)/ATOT(I))**2.)*(ENS(I)-ENS(I-1))

```

```

CONTINUE
B=B+ALP(NST)*(1.-ENS(NST-1))
B=(CONV(NST)**2.)*(-ALP(1)*((ATOT(NST)/
1 ATOT(1))**2.)*(1.-ENS(1))+B)/(2.*9.81*ATOT(NST)**2.)
CAUDAL=CONV(NST)*SQRT((TRAZA(1)-TRAZA(NST))/(A+B))
*** CALCULO DE LA RUGOSIDAD GLOBAL DEL TRAMO ***
RMANC=0.
DO 45 I=1,NST
ZM(I)=ATOT(I)*RHTOT(I)**(2./3.)
IF(I.EQ.NST) GO TO 45
RMANC=RMANC+ENS(I)*HVA(I)*CAUDAL**2/19.62
CONTINUE
RMAND=0.
DO 46 I=1,NFIN
RMAND=RMAND+(DIST(I+1)-DIST(I))/(ZM(I)*ZM(I+1))
CONTINUE
RMANC=SQRT((TRAZA(1)-TRAZA(NST)+CAUDAL**2*(ALP(1)/ATOT(1)**2-
1 ALP(NST)/ATOT(NST)**2)/19.62-RMANC)/RMAND)/CAUDAL

*** IMPRESION DE RESULTADOS ***
WRITE(IOUT,250)
DO 51 I=1,NST
V=CAUDAL/ATOT(I)
F=CAUDAL**2.*BTOT(I)/(9.81*ATOT(I)**3.)
WRITE(IOUT,255) I,CAUDAL,V,F
DO 50 K=1,NSSS(I)
QSS=PORCQ(I,K)*CAUDAL
V=QSS/ARPAR(I,K)
FSS=QSS**2.*BSSS(I,K)/(9.81*ARPAR(I,K)**3.)
WRITE(IOUT,256) K,QSS,V,FSS
CONTINUE
CONTINUE
WRITE(IOUT,260)
DO 60 I=1,NFIN
I2=I+1
ERR=100.*((Q(I)-CAUDAL)/CAUDAL)
WRITE(IOUT,261) I,I2,Q(I),ERR
CONTINUE
WRITE(IOUT,262) CAUDAL
WRITE(IOUT,263) RMANC

50 FORMAT(///21X,'CAUDALES EN CADA SUBSECCION'/15X,
1 'SEC SUBSEC Q (m3/s) V (m/s) FROUDE')
55 FORMAT(/15X,I3,' TOTAL ',F10.3,F10.3,F10.5)
56 FORMAT(21X,I3,2X,F10.3,F10.3,F10.5)
60 FORMAT(///22X,'ANALISIS DE ERROR EN EL CAUDAL'/22X,'SECCIONES',
1 3X,'CAUDAL',3X,'ERROR',5X,/22X,'DE',5X,'A',5X,'m3/s',6X,'%')
61 FORMAT(22X,I3,3X,I3,1X,F10.3,1X,F7.2)
62 FORMAT(22X,'PROM.POND.',F10.3)
63 FORMAT(///22X,'RUGOSIDAD DE MANNING GLOBAL DEL TRAMO'/30X,
1 'N global = ',F10.4)

000 CLOSE(UNIT=IN)
CLOSE(UNIT=IOUT)
STOP
END
SUBROUTINE GEOMET(NUMS,NVERT,H0,IGU,AREA,PERMOJ,RSUB,RADHID,
1 ATOT,PMTOT,RHTOT,BTOT,NSEC,YMIN,BSS)
*****
SUBROUTINA DE CALCULOS GEOMETRIA CAUCE
CONSIDERA SECCION CON DISTINTAS RUGOSIDADES POR TRAMOS
ALEJANDRO GRILLI D-F (1985)

```

NVERT : NUMERO DE VERTICES DE LA SECCION
H0 : ALTURA DEL AGUA, SOBRE EL FONDO (M)
IGU : SI IGU .LE. 0. REBALSA LA SECCION
AREA(I) : AREA DE SUBSECCION I (M2)
PERMOJ(I) : PERIMETRO MOJADO DE SUBSECCION I (M)
RSUB(I) : RUGOSIDAD DE SUBSECCION I
RADHID(I) : RADIO HIDRAULICO DE SUBSECCION I (M)
ATOT : AREA TOTAL DE LA SECCION MOJADA (M2)
PMTOT : PERIMETRO MOJADO TOTAL DE LA SECCION MOJADA
BTOT : ANCHO SUPERFICIAL TOTAL DE LA SECCION MOJADA
BSS(I) : ANCHO SUPERFICIAL DE LA SUBSECCION (I)
NSEC : NUMERO DE SUBSECCIONES (CADA SUBSECCION CORRESPONDE
A UNA ZONA CON IGUAL RUGOSIDAD)
YMIN : ALTITUD DE LA COTA DE FONDO DE LA SECCION (M)

DIMENSION AREA(50),PERMOJ(50),RSUB(50),RADHID(50),BSS(50)
COMMON X(10,50),Y(10,50),RUG(10,50)

BUSCA COORDENADA Ymin

IGU=0
YMIN=Y(NUMS,1)
DO 1 I=2,NVERT
IF(Y(NUMS,I).LE.YMIN) YMIN=Y(NUMS,I)
1 CONTINUE
PREGUNTA SI HAY REBALSE
Z=H0
IF((Z.LE.Y(NUMS,1)).AND.(Z.LE.Y(NUMS,NVERT))) GO TO 20
IGU=69
RETURN

CALCULA LOS VERTICES ENTRE LOS CUALES ESTA H0

20 NVFIN=NVERT-1
DO 3 I=1,NVFIN
IF((Y(NUMS,I).GE.Z).AND.(Z.GE.Y(NUMS,I+1))) III1=I
IF((Y(NUMS,I).LE.Z).AND.(Z.LE.Y(NUMS,I+1))) III3=I
3 CONTINUE

CALCULA COORDENADA XZ PARA Z

CALL COORX(NUMS,III1,Z,XZ1,III1)
CONTINUE
CALL COORX(NUMS,III3,Z,XZ3,III1)

ANCHO SUPERFICIAL DE LA SECCION TOTAL

BTOT=ABS(XZ3-XZ1)

CALCULA AREAS, RADIO HIDRAULICO, PERIMETRO MOJADO Y RUGOSIDAD
TANTO PARA CADA SUBSECCION, COMO PARA LA SECCION TOTAL

JC=1
AREA(JC)=0.
PERMOJ(JC)=0.
DO 10 I=III1,III3
RSUB(JC)=RUG(NUMS,I)
IF(I.EQ.III1) GO TO 7
IF(I.NE.III3) GO TO 8
D1=0.
D2=ABS(Z-Y(NUMS,III3))
D3=ABS(XZ3-X(NUMS,III3))
GO TO 9
7 D1=ABS(Z-Y(NUMS,III1+1))
D2=0.
D3=ABS(X(NUMS,III1+1)-XZ1)
GO TO 9
8 D1=ABS(Z-Y(NUMS,I+1))
D2=ABS(Z-Y(NUMS,I))
D3=ABS(X(NUMS,I+1)-X(NUMS,I))
9 AREA(JC)=AREA(JC)+0.5*(D1+D2)*D3

```

PERMOJ(JC)=PERMOJ(JC)+SQRT(((ABS(D1-D2))**2)+(D3**2))
IF(I.EQ.III3) GO TO 10
IF(RUG(NUMS,I).EQ.RUG(NUMS,I+1)) GO TO 10
JC=JC+1
AREA(JC)=0.
RSUB(JC)=0.
PERMOJ(JC)=0.
10 CONTINUE
NSEC=JC

```

CALCULO ANCHO SUPERFICIAL SUBSECCIONES Y SECCION TOTAL

```

X0S=XZ1
ISS=1
DO 30 IJ=III1,III3
IF(IJ.LT.III3) GO TO 29
BSS(ISS)=XZ3-X0S
GO TO 30
IF(RUG(NUMS,IJ).EQ.RUG(NUMS,IJ+1)) GO TO 30
BSS(ISS)=X(NUMS,IJ+1)-X0S
X0S=X(NUMS,IJ+1)
ISS=ISS+1
CONTINUE

```

```

DO 11 K=1,NSEC
RADHID(K)=AREA(K)/PERMOJ(K)
11 CONTINUE
NSEC=JC
ATOT=0.
PMTOT=0.
DO 12 K=1,NSEC
ATOT=ATOT+AREA(K)
12 PMTOT=PMTOT+PERMOJ(K)
RHTOT=ATOT/PMTOT
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE COORX(NUMS,N,Y0,X0,I1)
COMMON X(10,50),Y(10,50),RUG(10,50)
IF(X(NUMS,N).EQ.X(NUMS,N+1)) GO TO 6
PENE=(Y(NUMS,N+1)-Y(NUMS,N))/(X(NUMS,N+1)-X(NUMS,N))
IF(PENE.EQ.0.) GO TO 5
X0=X(NUMS,N)+((Y0-Y(NUMS,N))/PENE)
RETURN
5 IF(N.NE.I1) GO TO 6
X0=X(NUMS,N+1)
RETURN
6 X0=X(NUMS,N)
RETURN
END

```

ANEXO 2

EJEMPLO DE APLICACION DEL PROGRAMA "SLOPEAREA" AL
CASO DE LA CRECIDA DE JUNIO DE 1986 EN TINGUIRIRICA
EN BAJO LOS BRIONES.

RIO TINGUIRIRICA EN BAJO LOS BRIONES (rol BNA 06028001-0)

UBICACION : Lat. : 34° 41' S.
 Long. : 70° 52' W.
 Altitud : 518 m.s.n.m.
 Fecha Instalación: Lm : Nov/1921 ; Lg : Oct/1968
 suprimida: Junio 1986
 Perfil 1 ubicado a 442,5 m. aguas arriba del cable de afo
 ros, coincidiendo este último con el Perfil 5.

- . AREA CUENCA TOTAL : 1435 Km2
- . FECHA CRECIDA : 16 Junio 1986
- . AREA CUENCA BAJO 3.100 m.s.n.m. : 1017 Km2
- . CAUDAL MAXIMO INSTANTANEO : 1.200 $\pm$ 400 m3/s.
- . ALTURA LIMNIMETRICA MAXIMA : Lm = 4,65 m.
- . COEFICIENTE DE RUGOSIDAD CALCULADO PARA EL TRAMO :
 "n" de Manning = 0,037

DESCRIPCION DEL SEDIMENTO SUPERFICIAL DEL CAUCE

PERFIL	ZONA DE A (m)	Diám. Prom. (m)	Desv. Están. (m)	Número muestras
1	0 12,9 12,9 132,5	arena 0,1060	- 0,1622	- 137
2	0 125,0	0,0704	0,1108	160
3	0 148,0	0,0367	0,0980	193
4	0 171,0	0,0982	0,1431	181
5	0 152,5	0,0995	0,1693	140

MAYORES AFJROS HISTORICOS :

Fecha	Lm	m3/s	Fecha	Lm	m3/s
10/12/48	1,62	184	4/11/42	1,60	122
28/12/59	1,70	152	25/09/53	1,65	120
22/01/64	1,65	146	20/01/54	1,59	119
04/12/53	1,80	145	18/12/61	1,50	111
13/12/77	1,54	134	28/09/30	-	109
16/12/80	1,58	130	27/05/86	1,49	107
26/12/63	1,67	127	28/12/21	1,24	100
05/12/72	1,64	122			

MAYORES CAUDALES MEDIOS DIARIOS MAXIMOS ANUALES HISTORICOS :

Fecha	Lm	m3/s
02/11/1941	2,54	733
29/07/1940	2,51	704
29/06/1974	3,55	659
22/07/1977	3,25	557

OBSERVACIONES :

- La crecida de Junio de 1986 es la mayor observada en la historia de la es tación.
- Caudal máximo de la crecida según Curva de Descarga existente en Junio de 1986 : 1150 m3/s. Diferencia con respecto al caudal entregado por área- pendiente : - 4, %.
- Estación destruída por la crecida. Fué reinstalada en 1987, 2 Km. aguas arriba.

APLICACION DEL METODO AREA-PENDIENTE
 RIO TINGUIRIRICA EN BAJO BRIONES
 FECHA CRECIDA: JUNIO 1986

SUBSEC	AREA(m ²)	RAD.HIDR.(m)	COND.HIDR.	RUGOSIDAD ALPHA	Qsubsec/Qsec
1	15.720	1.34720	767.031	0.025	0.074
2	255.508	2.06939	9649.347	0.043	0.926
TOTAL	271.229	2.00703		1.015	
1	284.158	1.86069	13026.552	0.033	1.000
TOTAL	284.158	1.86069		1.000	
1	404.366	2.28465	17108.172	0.041	1.000
TOTAL	404.366	2.28465		1.000	
1	408.256	2.60830	18867.738	0.041	1.000
TOTAL	408.256	2.60830		1.000	

CAUDALES EN CADA SUBSECCION

SEC	SUBSEC	Q (m ³ /s)	V (m/s)	FROUDE
1	TOTAL	1165.078	4.296	0.90648
	1	85.793	5.457	
	2	1079.285	4.224	
3	TOTAL	1165.078	4.100	0.89530
	1	1165.078	4.100	
4	TOTAL	1165.078	2.881	0.35777
	1	1165.078	2.881	
5	TOTAL	1165.078	2.854	0.30968
	1	1165.078	2.854	

ANALISIS DE ERROR EN EL CAUDAL

SECCIONES DE	A	CAUDAL m ³ /s	ERROR %
1	3	983.602	-15.58
3	4	1280.484	9.91
4	5	1770.117	51.93
PROM. POND.		1165.078	

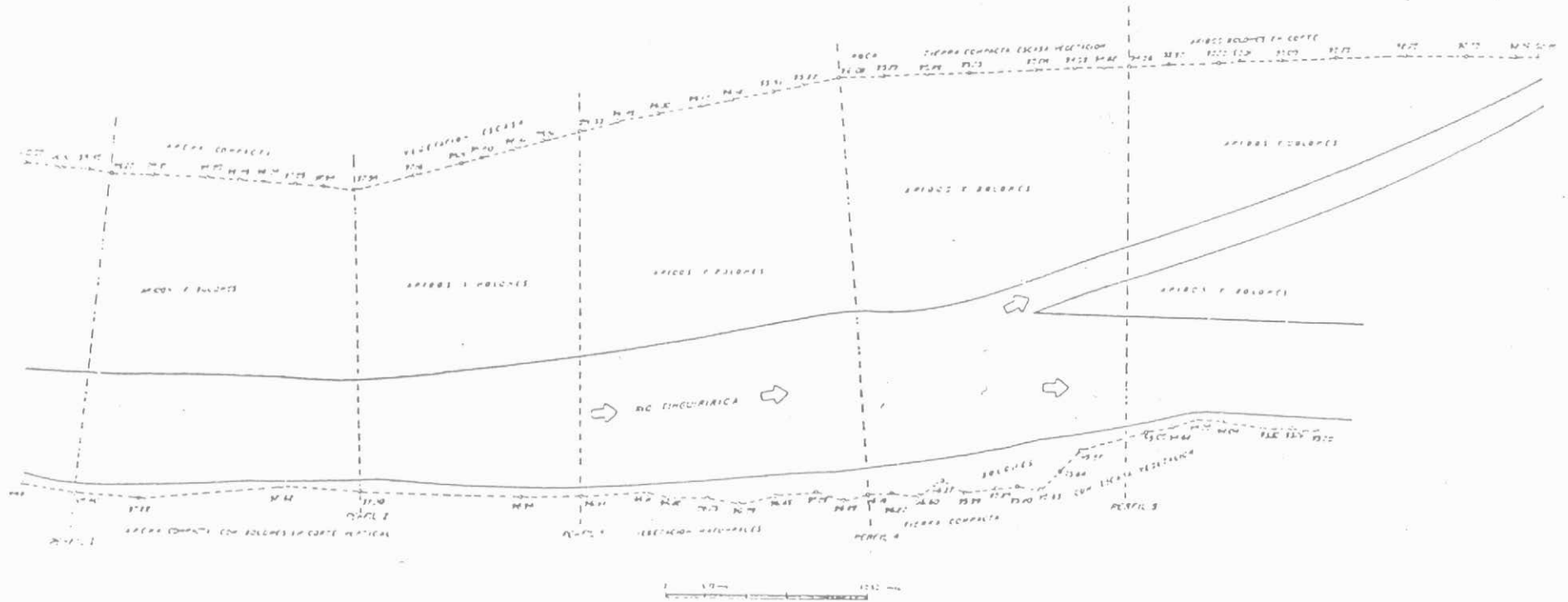
RUGOSIDAD DE MANNING GLOBAL DEL TRAMO
 N global = 0.0374

FIG 9

RIO TINGUIRIRICA EN BAJO LOS BRIONES

PLANTA LEVANTAMIENTO TRAZAS

CRECIDA PLUVIAL 16 JUNIO 1986



RIO TINGUIRICA EN BAJO LOS BRIONES

CRECIDA 16 JUNIO 1986

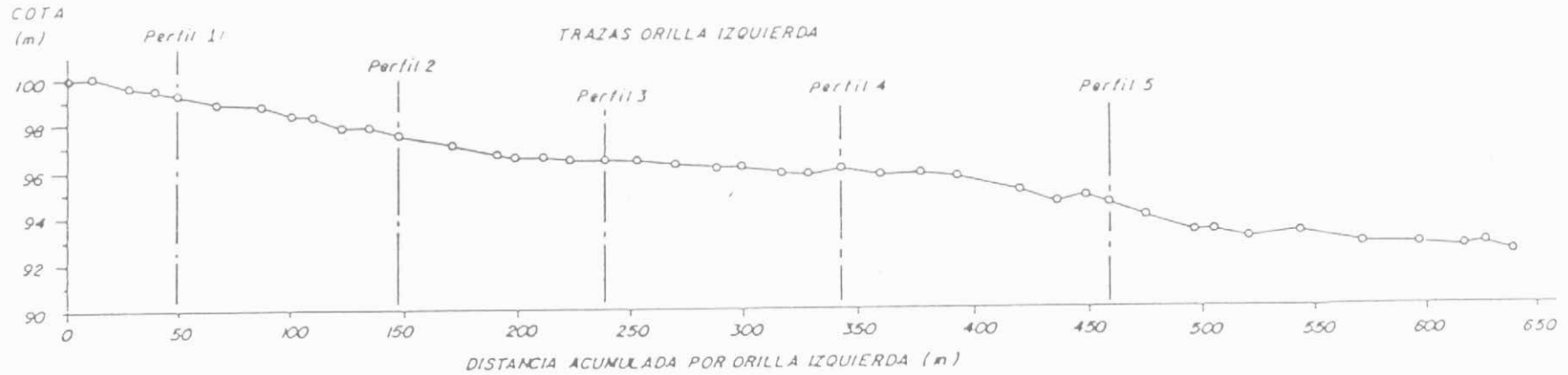


FIG. 11

PERFILES TRANSVERSALES — TINGUIRIRICA BAJO LOS BRIONES

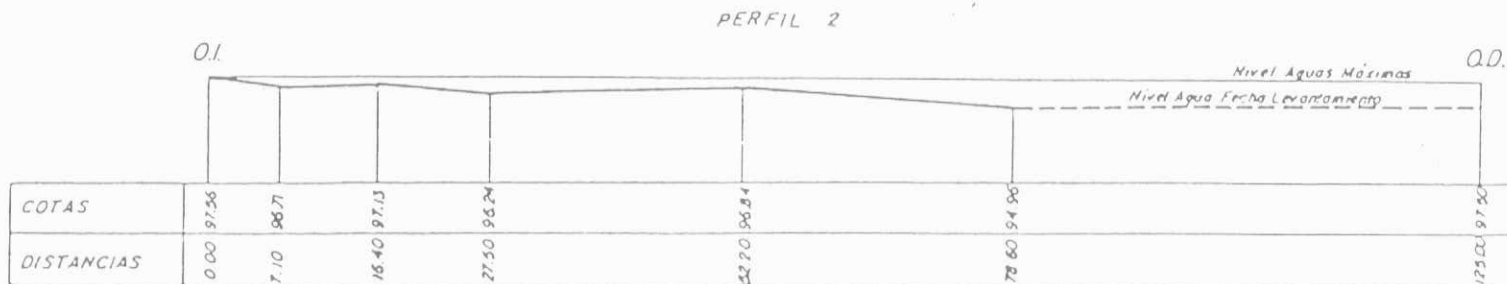
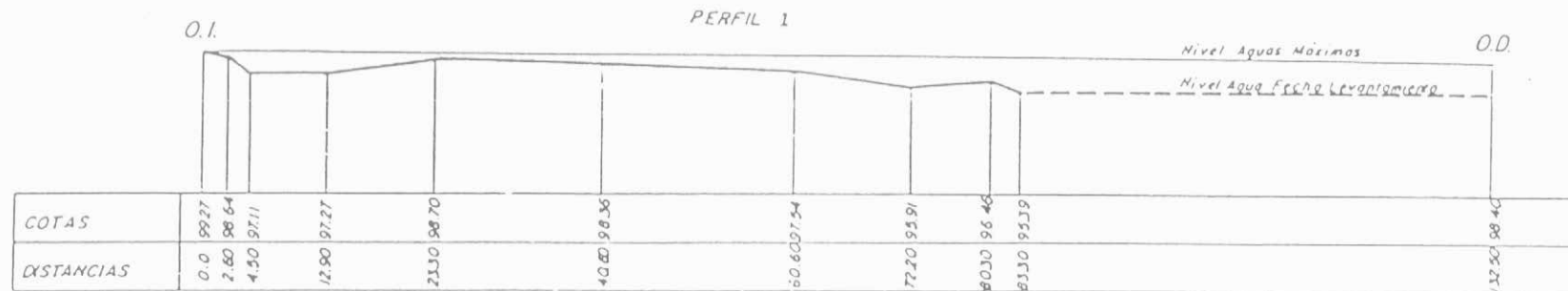


FIG. 11 (continuación)

PERFILES TRANSVERSALES — TINGUIRIRICA BAJO LOS BRIONES

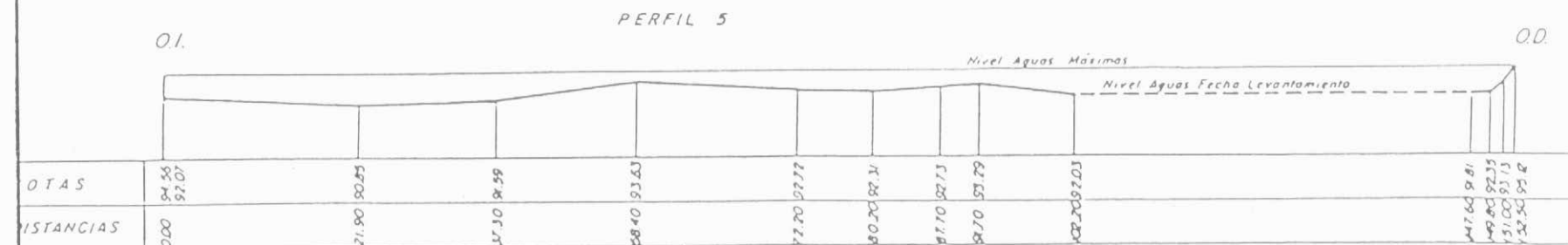
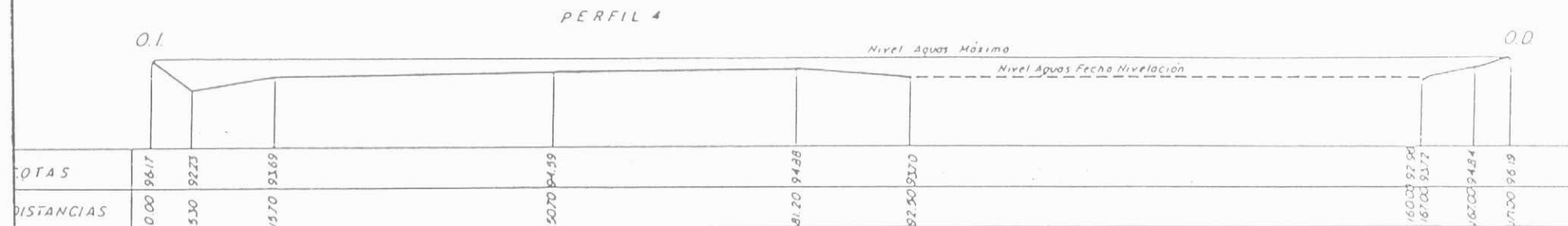
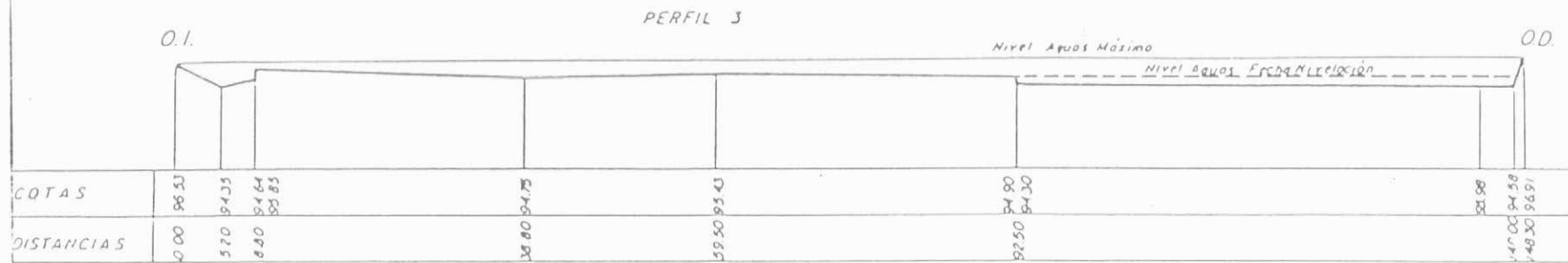
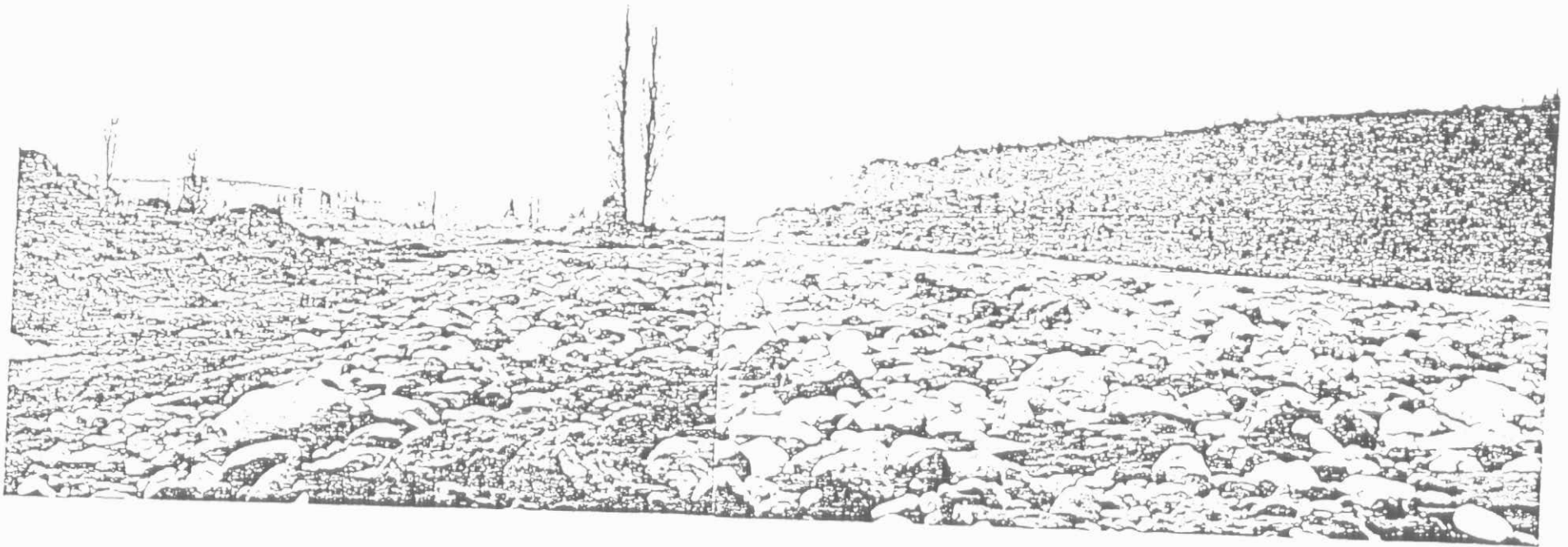


FOTO Nº 1

TINGUIRIRICA EN BAJO LOS BRIONES

CRECIDA 16 JUNIO 1986

FOTOGRAFIA 24 JULIO 1986



Vista hacia aguas abajo, desde el inicio del tramo de medición.

TINGUIRIRICA ENBAJO LOS BRIONES

CRECIDA 16 JUNIO 1986

FOTOGRAFÍAS 24 JULIO 1986

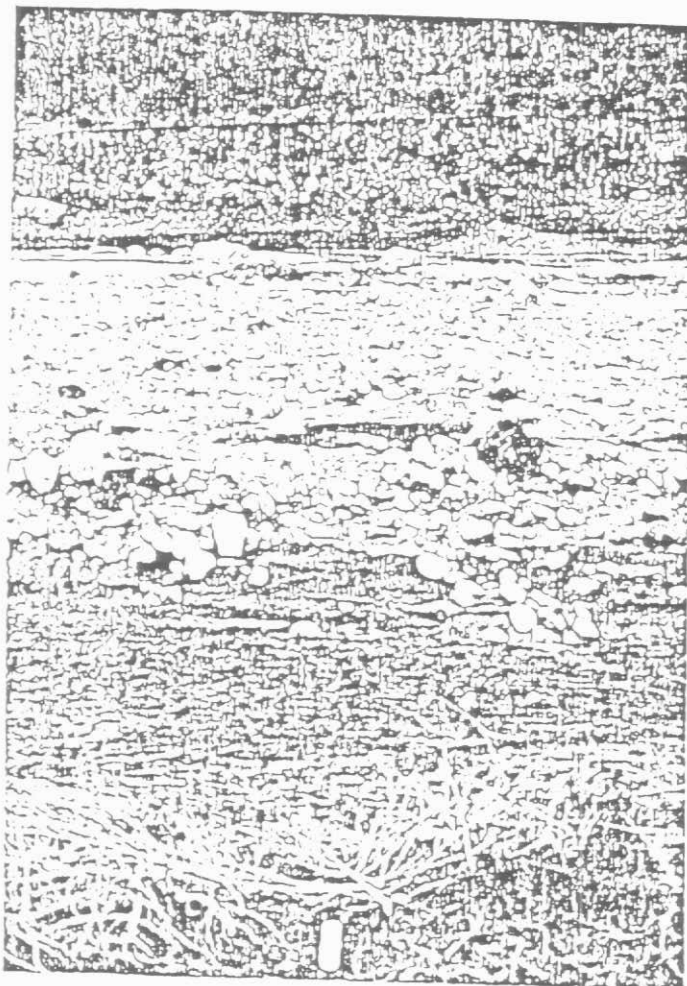


FOTO 2

PERFIL 1

Vista desde ribera izquierda
hacia ribera derecha.-

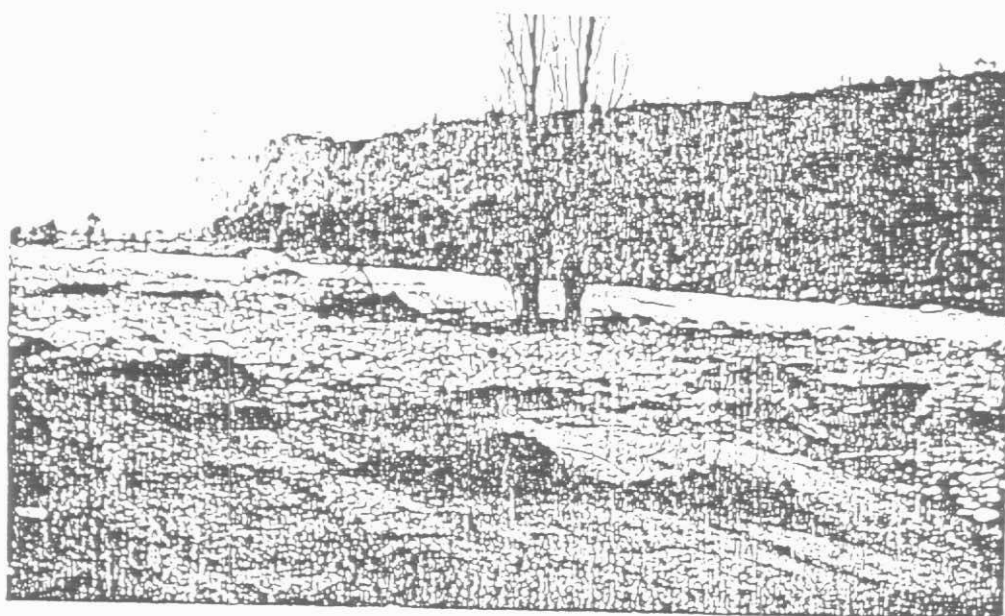


FOTO 3. Ribera izquierda, desde Perfil 1 hacia aguas abajo.

RIO TINGUIRIRICA EN BAJO LOS BRIONES

CRECIDA 16 JUNIO 1986

FOTOGRAFIA 24 JULIO 1986



FOTO 4

PERFIL 2

*Visto desde ribera izquierda
hacia ribera derecha.*



FOTO 5. Ribera izquierda, desde Perfil 2 hacia aguas abajo.

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA

HIDROMETEOROLOGIA

1991

INDICE GENERAL

- 1. GENERALIDADES
 - 1.1. OOBJETIVO DE LA RED HIDROMETEOROLOGICA
 - 1.2. CLASIFICACION DE ESTACIONES
 - 1.3. NORMA DE INSTALACION
 - 1.4. DISTRIBUCION DE LOS INSTRUMENTOS METEOROLOGICOS
 - 1.5. DESCRIPCIÓN DE ESTACIONES HIDROMETEOROLOGICAS
 - 1.6. LISTADO DE INSTRUMENTOS METEOROLOGICOS
- 2. DESCRIPCION DE LOS INSTRUMENTOS METEOROLOGICOS
 - 2.1. HIGROTERMOGRAGO
 - 2.1.1. ELEMENTOS SENSIBLES
 - 2.2. PSICROMETRO
 - 2.3. TERMOMETRO DE MAXIMA
 - 2.4. TERMOMETRO DE MINIMA
 - 2.5. PLUVIOMETRO
 - 2.6. PLUVIOGRAFO
 - 2.7. EVAPORIMETRO
 - 2.8. ANEMOMETRO TOTALIZADOR
 - 2.9. VELETA
 - 2.10. - ACTINOGRAFO
 - 2.11. - HELIOGRAFO
- 3. DE LA ELEVACION DE CADA INSTRUMENTO
- 4. ATENCION DE ESTACIONES HIDROMETEOROLOGICAS
 - 4.1. PLUVIOMETRO
 - 4.2. PLUVIOGRAFO

CONTINUACION INDICE

- 4.3. EVAPORIMETRO
- 4.4. TERMOMETROS
- 4.5. HIGROTERMOGRAFO
- 4.6. ANEMOMETRO BAJO (TOTALIZADOR)
- 4.7. ACTINOGRAFO
- 4.8. HELIOGRAFO
- 4.9. ANEMOCINEMOMETRO

1.- GENERALIDADES

1.1.- OBJETIVO DE LA RED HIDROMETEOROLOGICA

La red hidrometeorológica debe permitir medir aquellos parámetros meteorológicos de interés, para el análisis, desarrollo y planificación de los recursos hídricos en las distintas zonas del territorio nacional. Se entiende por red hidrometeorológica al sistema organizado de estaciones, para recolectar datos de precipitaciones (Nival-Pluvial) y demás parámetros meteorológicos, los que, en conjunto con la red fluviométrica, puedan satisfacer las necesidades de información, para la evaluación y conservación de los recursos hídricos y para el diseño y operación de sistemas hidráulicos de aprovechamiento y control. De acuerdo a lo expresado, es necesario definir algunos criterios principales a tenerse en consideración.

- La densidad de estaciones que debe tener la red, debe ser apropiada para caracterizar, hidrometeorológicamente, los diversos regímenes hidrológicos que se presenten en cada región, tomando en cuenta las características climáticas, fisiográficas y requerimiento de información de cada zona.
- La caracterización hidrometeorológica debe contemplar la posibilidad de determinar apropiada y cuantitativamente, valores promedios, extremos y distribución estadística de, precipitación, evaporación, temperatura del aire, humedad del aire, dirección e intensidad del viento, radiación, horas de sol y profundidad y densidad de la nieve, es decir, aquellos parámetros meteorológicos de importancia en el ciclo hidrológico de cada zona.

La Dirección General de Aguas, con el objeto de cumplir con las obligaciones estipuladas en el Código de Aguas, debe tener información de los diversos parámetros meteorológicos,

los que deben ser confiables y consistentes ya que constituyen la base para cualquier estudio hidrometeorológico e hidrológico. Además, dichos parámetros son utilizados directamente por diversos Servicios, Instituciones y usuarios particulares.

La red de estaciones hidrometeorológicas operadas por la Dirección General de Aguas a lo largo del país precisa de controles periódicos, mantención, conservación y reparación de los diversos instrumentos e infraestructura de ellas para su buen funcionamiento.

Entre los factores climatológicos que afectan las características hidrológicas, se pueden mencionar las precipitaciones, la existencia de nieve, hielo, los efectos del viento, la temperatura y la humedad en la evapotranspiración y en la fusión de la nieve. En razón a ello, es conveniente conocer los diversos tipos de estaciones e instrumentos que permiten obtener las variables meteorológicas que se utilizan para estos estudios.

El Objeto de este Manual es el de estandarizar el manejo de los instrumentos meteorológicos, tanto para su operación como para su calibración y reparaciones menores.

El enfoque dado a este manual se ajusta más a puntos de vista prácticos que teóricos, derivados de años de experiencia en la observación y mantención de Estaciones Meteorológicas; sin dejar, de lado las recomendaciones emanadas de la Organización Meteorológica Mundial.

1.2.- Clasificación de Estaciones

De acuerdo a los datos que se registran y a la frecuencia de observación, las estaciones hidrometeorológica se clasifican de acuerdo a las normas de la OMM, de la siguiente forma:

- a) Estaciones Meteorológicas de Primer Orden o principales.- Son aquellas que cuentan con todo el instrumental meteorológico (Psicrómetro, higrómetro, evaporímetro, anemómetro, heliógrafo, actinógrafo, veleta, pluviómetro, pluviógrafo, termómetro de máx. y de mín.), los cuales deben ser leídos tres veces al día, en un horario previamente determinado.
- b) Estaciones Meteorológicas de Segundo Orden o secundarias.- Son aquellas que cuentan con el siguiente instrumental meteorológico: Psicrómetro, Termómetro de Máx. y Mín. Higrómetro, Pluviómetro, Evaporímetro y Recorrido del viento. En este tipo de estaciones se realiza, a lo menos, una lectura diaria.
- c) Estaciones Auxiliares.- Dentro de ésta clasificación se encuentran todas aquellas que se leen una vez al día, o que se lee cuando se produce el fenómeno.
- d) Estaciones con fines especiales.- Son todas aquellas donde, aparte de medir los parámetros básicos indicados en los puntos a, b y c, se realizan otras mediciones con fines específicos. Estas pueden ser permanentes o transitorias, o según el fin que llevó a su instalación.
- e) Estaciones Automáticas.- Son aquella que no necesiten observadores y pueden conectarse a estaciones de transmisión a control remoto o vía satélite.

1.3.- Normas de Instalación

Para el emplazamiento de una estación hidrometeorológica se recomienda lo siguiente:

- a) El lugar elegido debe ser representativo de la zona

- b) Libre circulación del aire y visibilidad en todas las direcciones.
- c) Que se encuentre suficientemente distante de edificios y muros altos que alteren la temperatura del aire o susceptible de producir remolinos de viento

1.4.- DISTRIBUCION DE LOS INSTRUMENTOS METEOROLOGICOS

Es frecuente que la instalación ideal no sea posible en la práctica; por lo tanto, debemos tener en cuenta futuros planes de construcción o plantación de arboledas, de manera de garantizar un funcionamiento continuo.

- Las medidas que debe tener el cerco de las estaciones hidrometeorológicas son las siguientes:
- 1º Orden es de 10 x 10m.
- 2º Orden es de 7m x 7m.
- Est. Auxiliar 2.50 x 2.50 m.

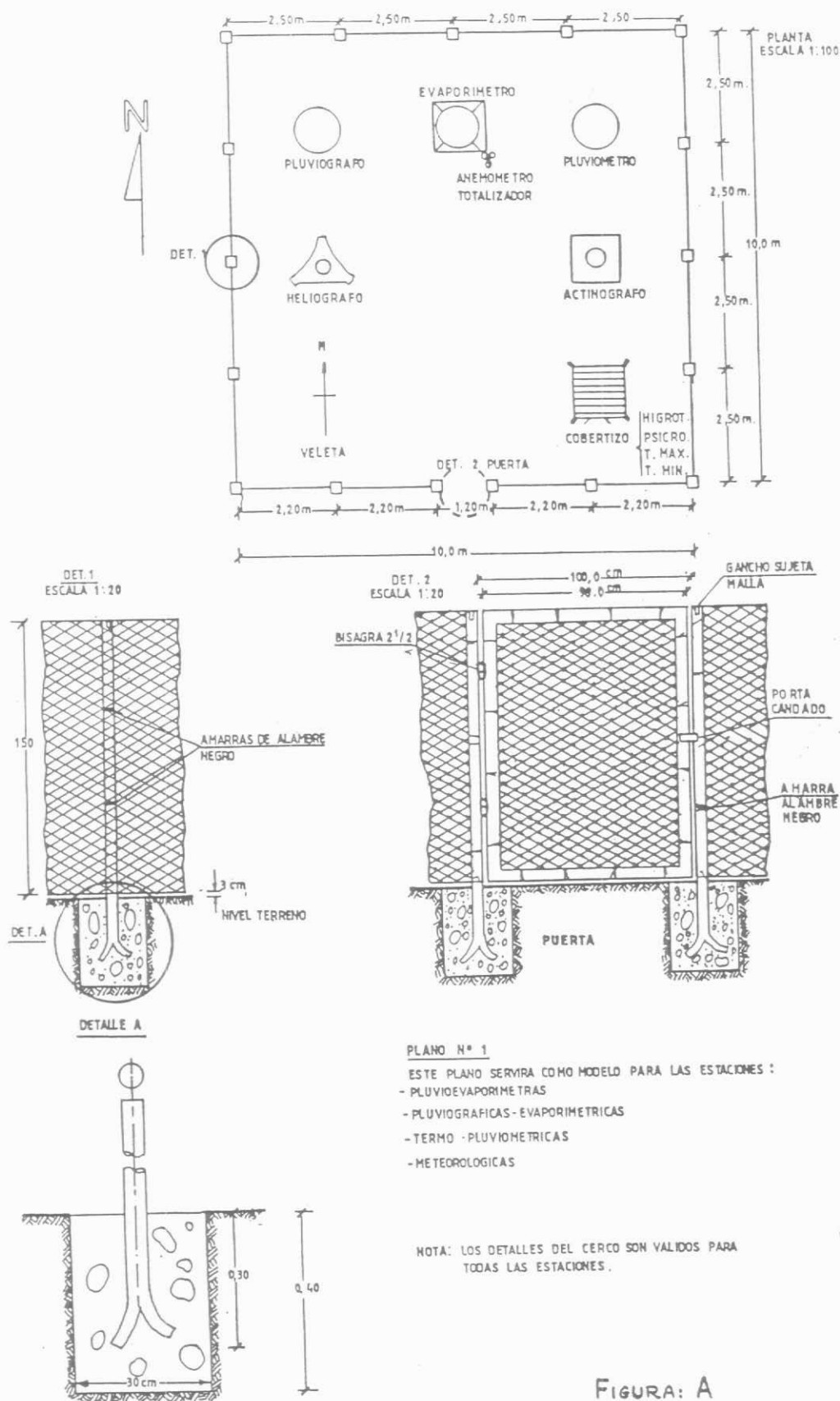
La distribución de los instrumentos meteorológicos dentro de un cerco de 10 x 10 mts., obedece a recomendaciones internacionales de la O.M.M. (Organización Mundial Meteorológica), como se muestra en la fig A.

Dichas recomendaciones, obviamente, son modificables de acuerdo a las condiciones climatológicas y orográficas de la zona o área de intalación.

1.5.- Descripción de Estaciones Hidrometeorológicas

Las estaciones que conforman la red hidrometeorológicas, que posee la D.G.A., se agrupan conforme al instrumental que poseen, de la siguiente forma:

CERCO Y ESTACION METEOROLOGICA



- 1.- Pluviométricas (sólo pluviómetro)
- 2.- Pluvio-Pluviográficas (pluviómetro + pluviógrafo)
- 3.- Nivométricas (nivómetro)
- 4.- Pluvio-Nivométricas (pluviómetro + nivómetro)
- 5.- Pluvio-evaporimétrica (pluviómetro + evaporímetro + recorrido del viento)
- 6.- Pluvio-Pluviográfica - Evaporimétricas (pluviómetro + pluviógrafo + evaporímetro + recorrido del viento)
- 7.- termopluvio-Evaporimétricas (pluviómetro + pluviógrafo + evaporímetro + recorrido del viento + caseta con psicrómetro, termómetro de máxima y mínima e higrotérmografo)
- 8.- Meteorológicas (todo el instrumental)
- 9.- Rutas de Nieve
- 10.- Plataformas automáticas DCP.

Las estaciones mencionadas, se encuentran a cargo de un observador, el que controla los datos proporcionados por el instrumental.

Estas son supervisadas y mantenidas por profesionales especializados de la Dirección General de Aguas.

1.6.- LISTADO DE INSTRUMENTOS METEOROLOGICOS

Los instrumentos utilizados por la D.G.A. son los siguientes:

Pluviógrafo semanal
Evaporímetro W.B.(bandeja)
Anemómetro Totalizador
Actinógrafo Bimetálico semanal
Heliógrafo

Caseta Meteorológica :	Psicrómetro
	Termómetro de Máxima
	Termómetro de Mínima
	Higrotermógrafo semanal
Pluviómetro W.B.	
Veleta WILD	

2.- DESCRIPCION DE LOS INSTRUMENTOS METEOROLOGICOS

2.1. Higrotermógrafo :

Instrumento registrador de humedad relativa expresado en tanto por ciento (%) (su elemento sensible es el haz de cabello) y la Temperatura en grados Centígrados (°C) (su elemento sensible es un Bimetálico), ambos parámetros son graficados en una misma banda o diagrama (fig. N° 1).

Estos dos importantes parámetros climáticos, desempeñan en las investigaciones meteorológicas, hidrometeorológicas y climatológicas un papel decisivo.

2.1.1. Elementos sensibles

Haz de Cabello.- Es el elemento sensible del Higrógrafo está hecho de cabellos humanos preparados en un proceso especial de desgrasamiento en Laboratorio, para hacerlos más sensibles a los cambios de humedad. Este Haz, es materializado por aproximadamente 50 pelos (Rubios), separados en finos cablecitos de a 8 cabellos cada uno, con objeto de obtener un mayor rendimiento y aumentar por lo tanto la sensibilidad del instrumento. El montaje del haz de cabello va sobre un pasador que esta conectado a una placa con resorte y tornillo de regulación y, el otro extremo, en un descanso que se une a un sistema de palancas y al brazo de la pluma inscriptora.

HIGROTHERMOGRAFO /79

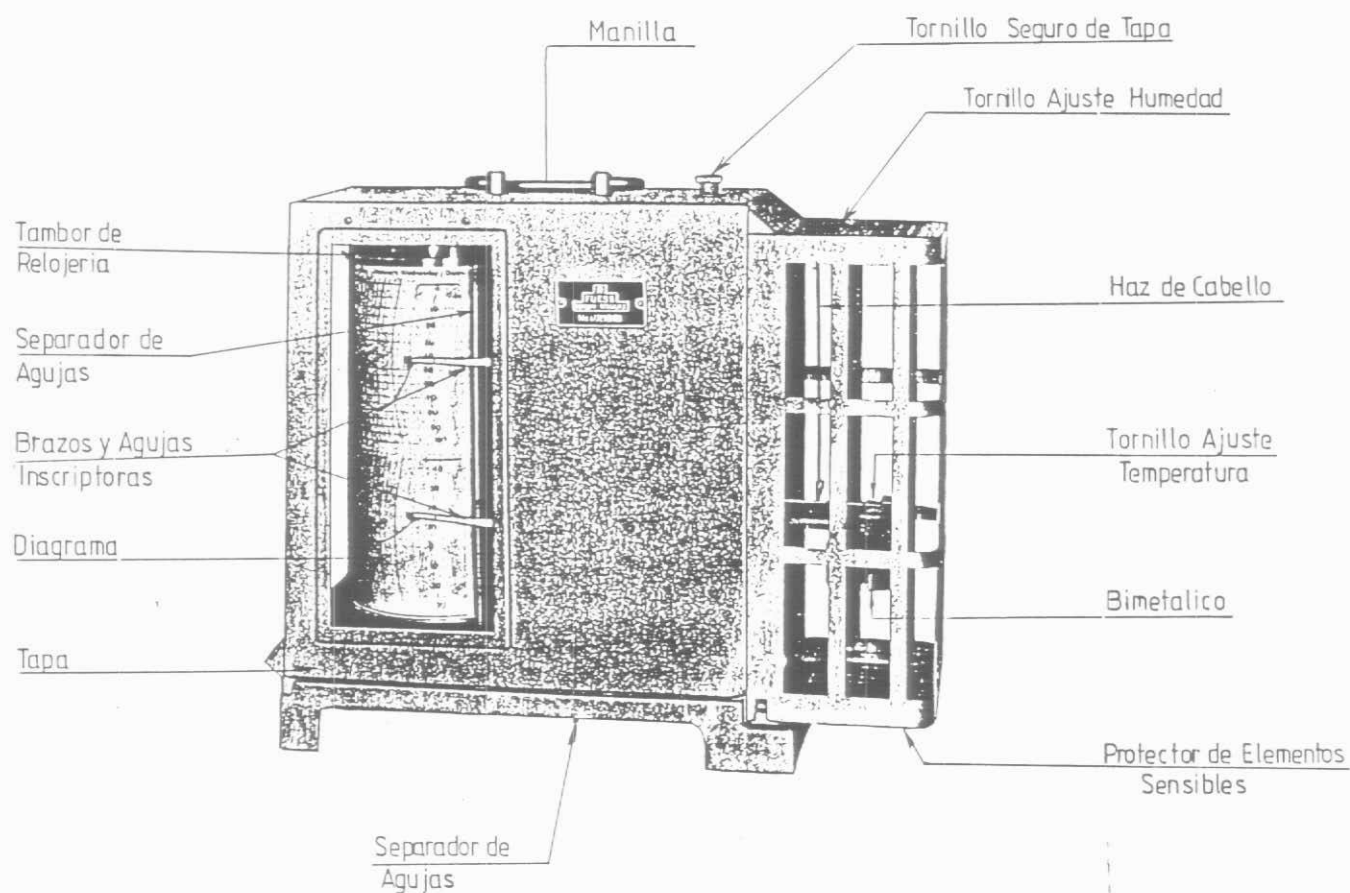


FIG Nº 1

Bimetálico .- Consiste en una cinta metálica compuesta de dos láminas de distinto coeficiente de dilatación, soldadas entre sí, que forman un solo conjunto y que forman casi un círculo. Un extremo de este va fijo a un brazo ajustable, cuya posición respecto al marco del instrumento, puede ser maniobrado por medio de un tornillo de ajuste. El otro extremo se une a un sistema de palancas y al brazo de la pluma inscriptora.

2.2. El Psicrómetro.- El Psicrómetro permite determinar la humedad atmosférica en forma exacta y segura (el cálculo se realiza con tablas psicrométricas). Consiste en dos termómetros iguales teniendo como elemento sensible el mercurio (Fig N°2).

El bulbo de uno de ellos, está cubierto por una manga humectante (muselina) y recibe el nombre "Termómetro Humedo". El bulbo se mantiene mojado a través de la misma manga, que va a un recipiente con agua destilada. El otro se llama "Termómetro Seco" su bulbo queda descubierto, y nos señala la temperatura del aire del momento.

De la diferencia entre ambas temperaturas se deduce con exactitud la Humedad Relativa del aire. Utilizando las tablas psicométricas, ya mencionadas.

2.3. Termómetro de Máxima.- Instrumento de lectura directa que nos da la Temperatura Máxima que se produce durante el día.

La particularidad de este termómetro respecto a los del punto anterior es que, en la salida del bulbo y subida del mercurio por el capilar, existe un corte que se denomina estrangulación y es la que impide el retorno de la columna de Mercurio y la hace mantenerse en el punto más alto indicando la Temperatura Máxima del día. (fig. N° 2)

2.4. Termómetro de Mínimas.- Instrumento de lectura directa que nos da la Temperatura Mínima que se produce durante el día.

PSICROMETRO

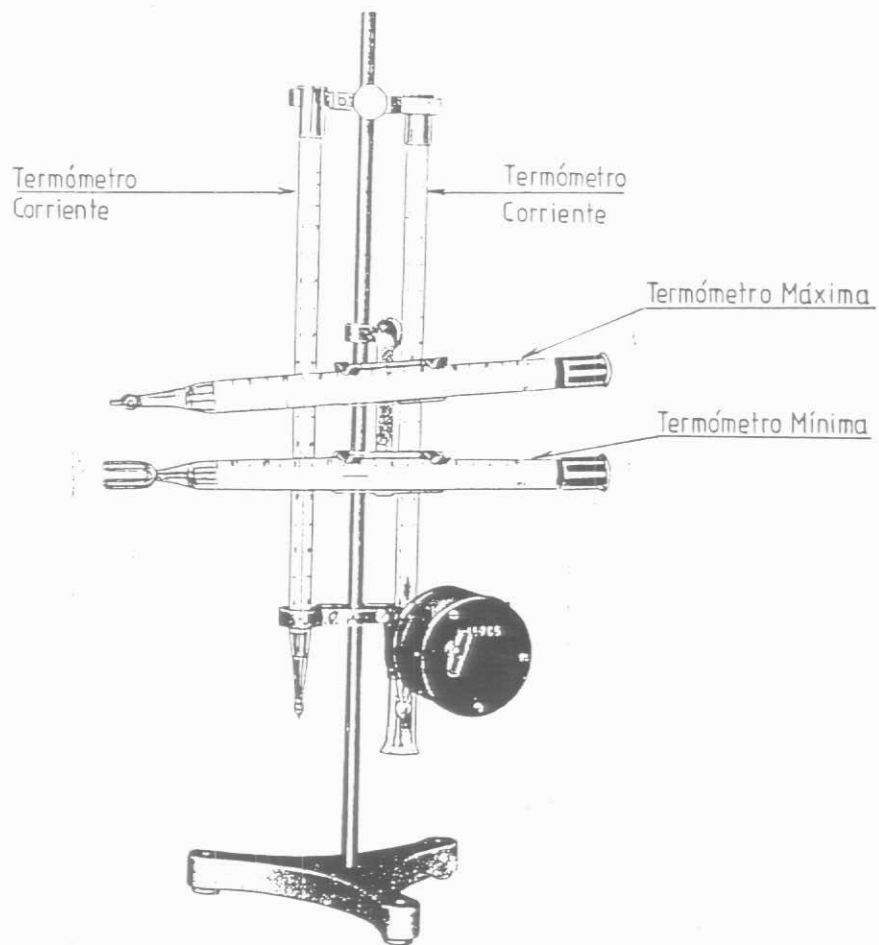


FIG Nº 2

(fig. N° 2). El elemento sensible de este termómetro, es el alcohol. En él, va un menisco (o índice) que es desplazado cada vez que el alcohol se contrae (disminuye la temperatura), quedando en esa posición aunque, posteriormente el alcohol se dilate. De esta manera queda señalada la temperatura mínima registrada. La lectura se efectúa siempre en el extremo derecho del menisco.

2.5. Pluviómetro.- Instrumento de lectura directa, que nos permite leer la cantidad de agua precipitada, a través de una probeta de vidrio ó plástico transparente graduada, o bién, por medio de una regla de madera graduada. (fig N° 3 y N° 4)

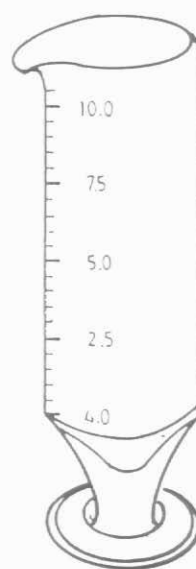
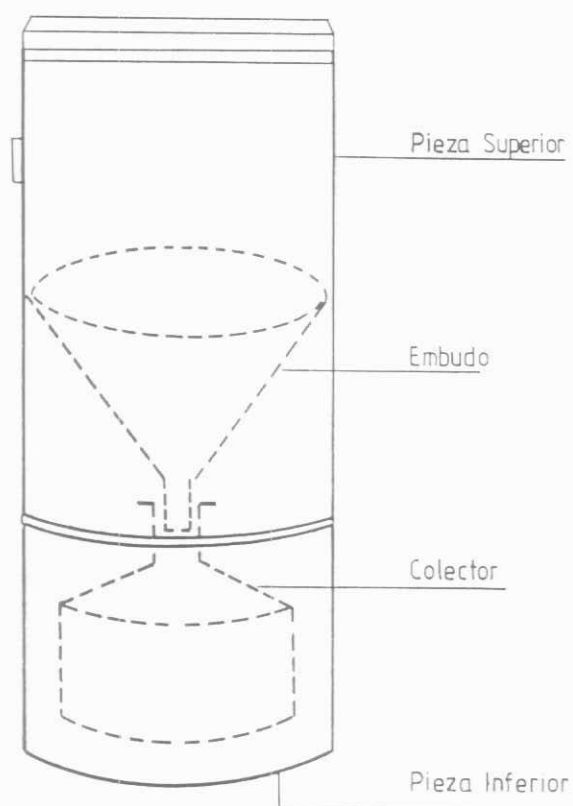
2.6. Pluviógrafo.- Instrumento registrador, que nos permite leer la Intensidad de precipitación en forma horaria (fig N° 5). El Pluviógrafo es un cilindro metálico que lleva en su parte superior un anillo de canto afilado que limita el área de entrada a las dimensiones normales de 200 cm². La lluvia caída fluye hacía el colector y levanta el flotador. Este movimiento se trasmite por una varilla unida al flotador y una palanca al brazo y pluma inscriptora.

2.7. EVAPORIMETRO

La evaporación es la cantidad de agua que una masa líquida, al aire libre, pierde a través de su superficie por evaporarse durante un cierto período de tiempo. La evaporación se mide por el espesor de la capa evaporada, expresada en milímetros y décimas de mm.

Hay que considerar que una lámina de agua de un milímetro de espesor y de un M² de extensión equivale a un litro, el mismo número que expresa el agua en milímetros, representará la cantidad en lts. de agua evaporada por M² de superficie evaporante.

PLUVIOMETRO DE PROBETA



PROBETA

DIMENSIONES

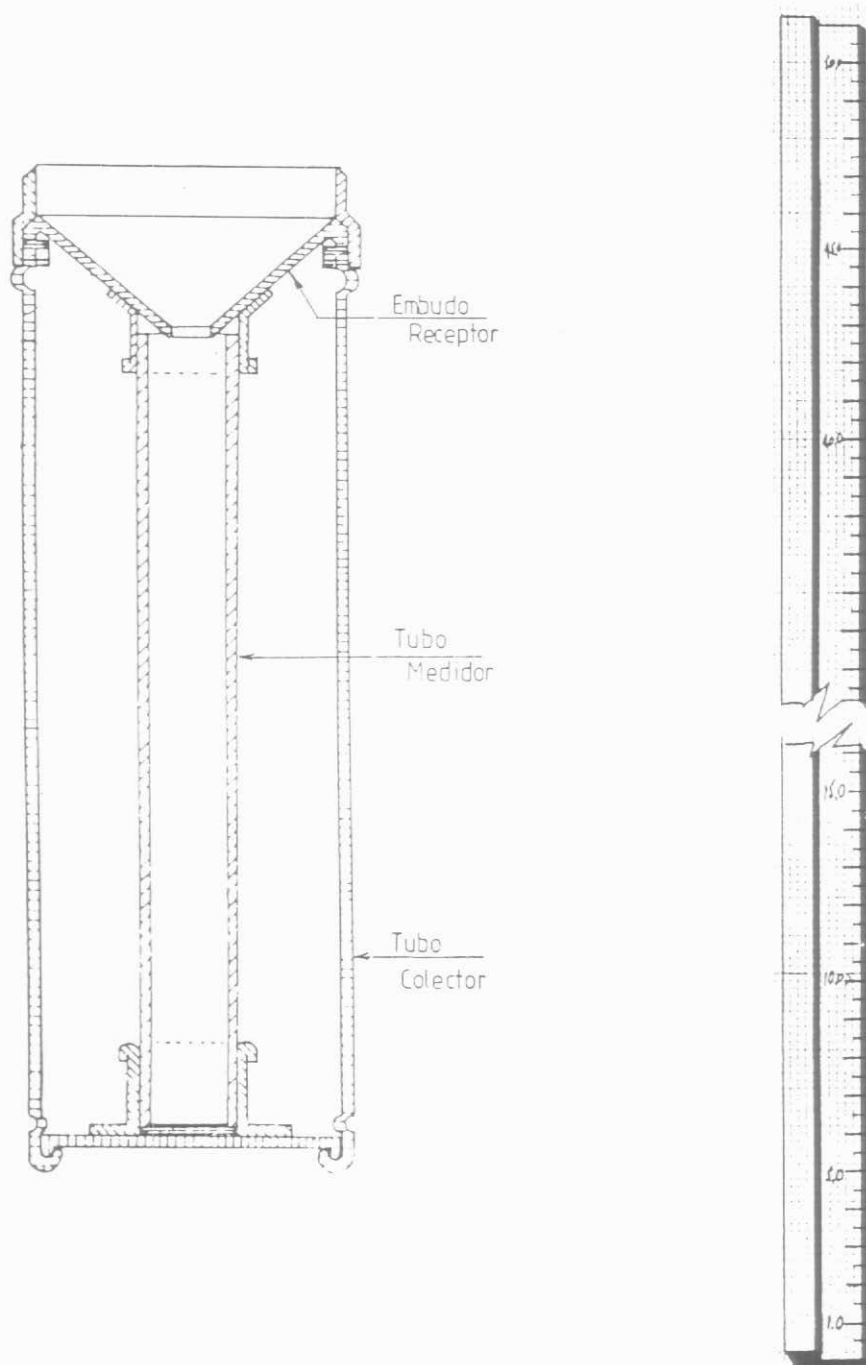
ϕ 190 mm x 140 mm alto

Peso 2.7 Kg

Cap. colector 70 mm

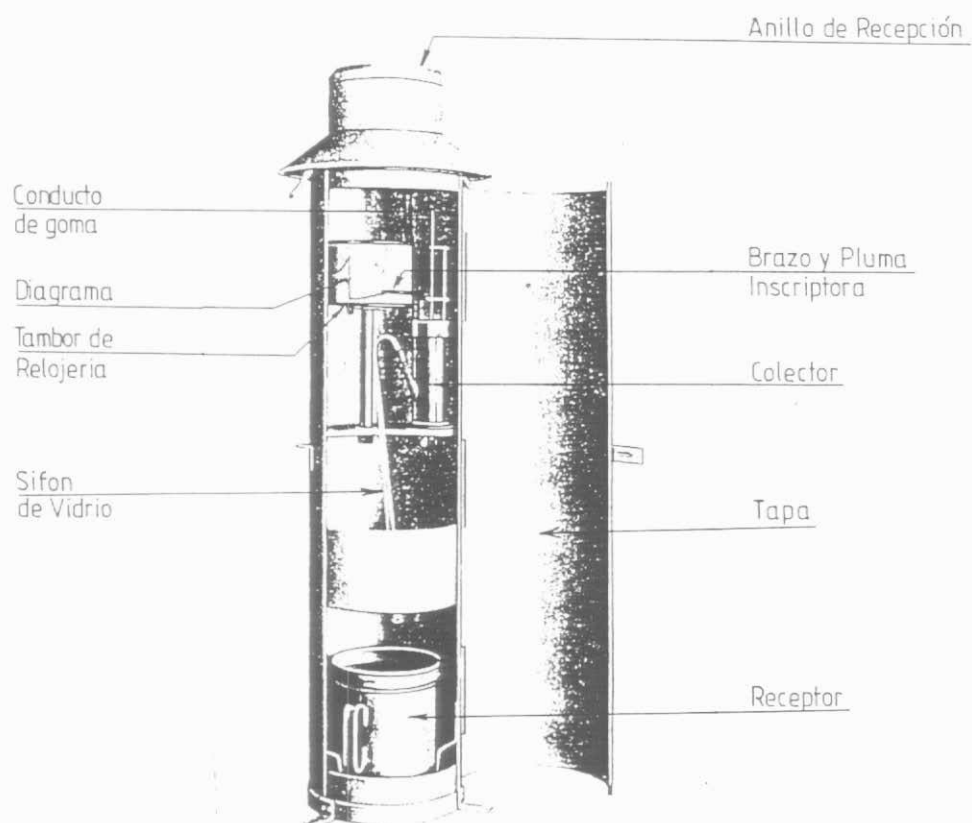
FIG. N° 3

PLUVIOMETRO



REGLA PLUVIOMETRICA
Graduada de 0 a 50 mm.

PLUVIOGRAFO /95



DIMENSIONES : ϕ 240 x 1.150 mm. ALTO
 PESO APROX. 17.5 Kg

DATOS TECNICOS :

AREA DE LA BOCA 200 cm²
 RELOJ A CUERDA SEMANAL
 DIAGRAMA B - 3
 DESARROLLO DEL GRAFICO APROX 2 mm/hr.

FIG. Nº 5

El evaporímetro permite leer la evaporación que se produce durante 24 hrs. en un lugar determinado. Esta construido en latón galvanizado o de una aleación resistente a las sustancias corrosivas, el fondo debe estar reforzado para evitar abolladuras.

Es una piscina que tiene un diámetro de 1.22 m x 0.25 m de profundidad. La medida de evaporación se realiza reponiendo lo evaporado con dos tachos de medida:

medida grande = 1.0 mm. y
medida chica = 0.1 mm.

El evaporímetro va montado sobre una base cuadrada de madera de 1.25 x 1.25 m. (enjaletado), completamente a nivel,

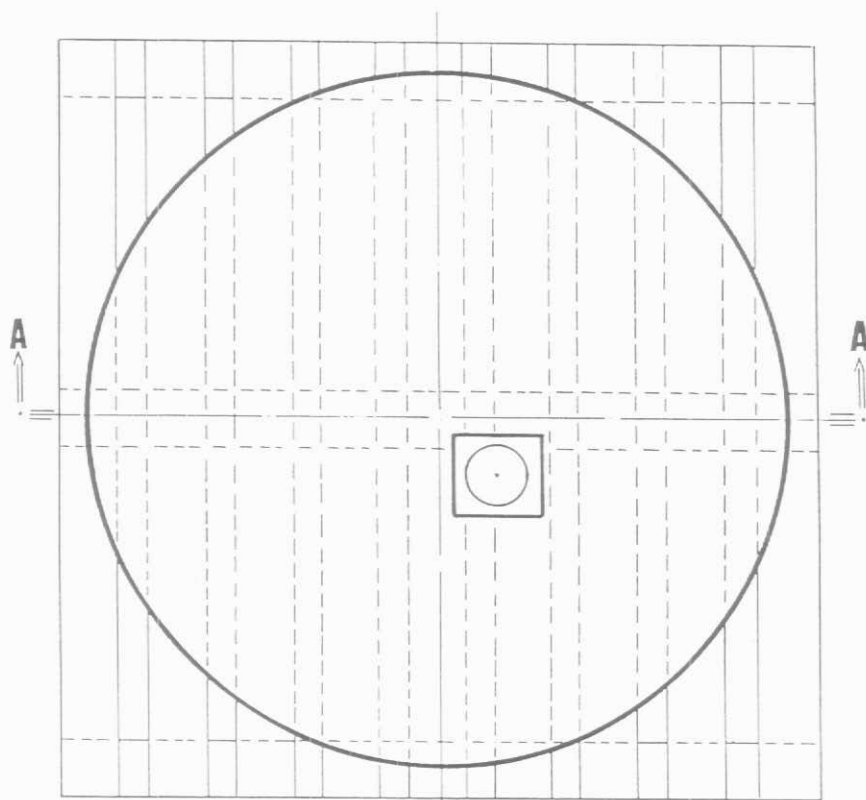
con una altura de 8 a 10 cm., que le permite una libre circulación de aire por debajo.

Para medir, se usa una varilla terminada en una punta montada en el interior de un tubo de metal no corrosivo. Este, se encuentra unido a una base metálica de superficie, tamaño y peso que asegure su posición en el tanque y que no sufra cambios por efecto del viento. En la parte baja del tubo y por sobre la base, hay 4 perforaciones de $\varnothing$ 5 mm. a objeto de permitir el flujo de agua entre el tanque y la aguja indicadora. Este dispositivo va en el interior del tanque aproximadamente a 30 cm. del borde Sur. (fig N° 6)

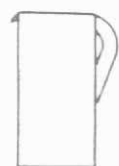
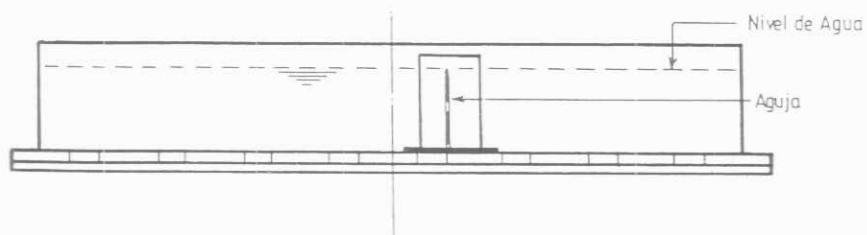
2.8. Anemómetro totalizador Permite leer el recorrido del viento a nivel de superficie, Está instalado a un costado del evaporímetro y se usa mucho en meteorología, con fines de investigaciones forestales, agrícolas, etc. dónde el flujo del viento tiene importancia. (fig. N° 7).

EVAPORIMETRO W.B.

PLANTA



CORTE A-A



Tacho Grande



Tacho Chico

FIG. Nº 6

ANEMOMETRO CON CONTADOR

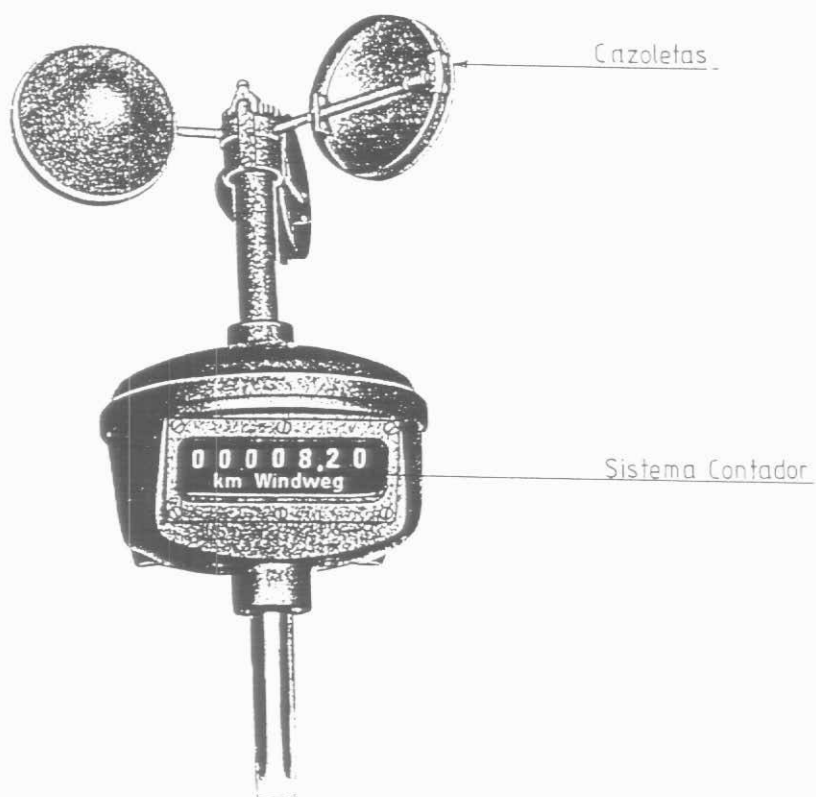


FIG. Nº 7

Con este instrumento, se va sumando continuamente el recorrido del viento, con lo cual se puede calcular, fácilmente, la velocidad media del viento correspondiente a cualquier intervalo de tiempo.

El cuerpo sensible consiste en una estrella de tres brazos rematados en cazoletas de forma cónica, que se ponen en movimiento de rotación, bajo la acción de la presión del viento. La rotación de las cazoletas, se trasmite por medio de un engranaje a un contador de siete cifras que va totalizando el recorrido del viento en Kms.

2.9. Veleta.- Mide la Dirección y Fuerza del viento, tiene una altura de 1.50 mt. y se instala sobre un mástil de Fe de 2" de diámetro y de 6 mts de altura, Es de construcción muy solida, facilita su lectura a distancia considerable. (fig Nº 8)

La marca "N", fijada en la barra transversal de la cruz, debe ajustarse exactamente al Norte. La fuerza del viento se determina por medio del indicador de fuerza, que va levantandose con la velocidad del viento, y recorriendo el Goniómetro provisto de las marcas. Lo Único que resta hacer es observar que marcas ha alcanzado el indicador de fuerza. Entre las marcas del Goniómetro, la velocidad del viento en m/seg. y la escala de Beaufort en nudos, existen las siguientes relaciones:

Marcas del goniómetro	:	1	2	3	4	5	6	7	8
Velocidad del viento (m/s):		0	2	4	6	8	11	14	20
Fuerza del viento (nudos)	:	0	2	3	4	5	6	7	9

VELETA

"TIPO WILD"

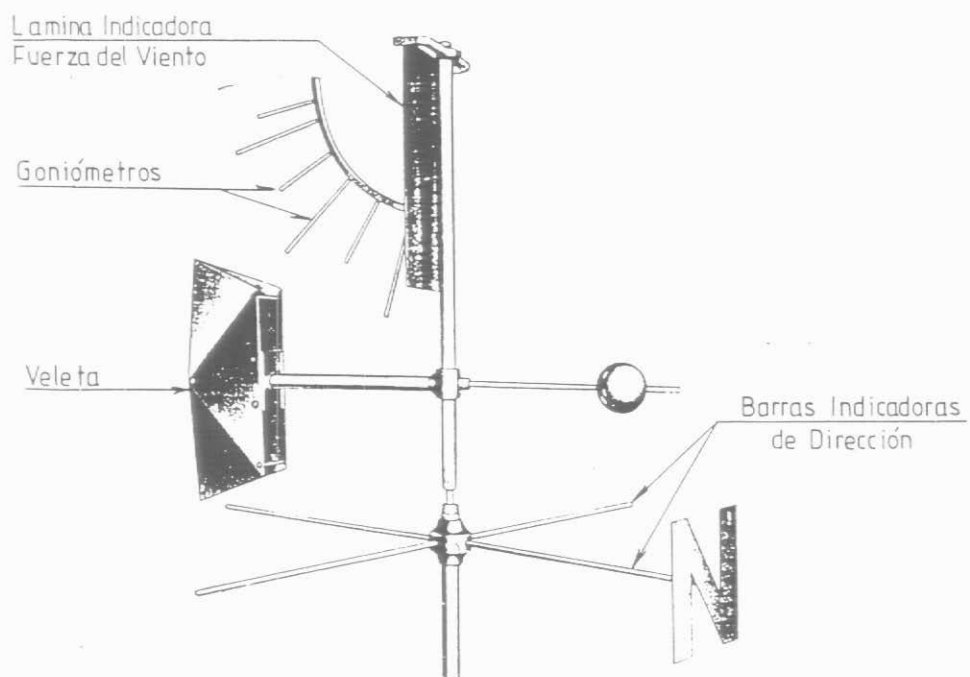


FIG. Nº 8

2.10.- Actinógrafo.- Mide la Radiación Solar Global recibida sobre la superficie terrestre. El sistema de medición consiste en tres tiras bimetálicas ennegrecidas, expuestas a la radiación, y tres tiras bimetálicas blancas, dispuestas debajo de ellas, cuya tarea es compensar el influjo de la temperatura del aire. Las tiras están conjuntas entre sí y con el sistema registrador, de modo que, la posición de la plumilla inscriptora, va determinada por la energía de irradiación y no por la temperatura ambiente. La irradiación total se determina, por planimetría en cal/cm² para cualquier periodo de tiempo. (fig. N° 9).

2.11.- Heliógrafo.- Registra las horas reales del sol diario. se usa mucho en la Agricultura, Fruticultura, Horticultura, etc.

Funciona como una esfera de vidrio, que actúa de lente colector, produce marcas de ustrón (quemadura), sobre una tira de cartón o cartulina ennegrecida que va introducida en las ranuras del portatiras que circunda concéntricamente la esfera de vidrio. Según la intensidad de la irradiación Solar, dichas marcas resultan más o menos intensas. (fig. N° 10)

Existen tres tipos de cintas, las cuales se usan en diferentes periodos del año:

- | | |
|---------------|----------------------|
| - rectas | = equinoccio |
| - curva corta | = otoño - invierno |
| - curva larga | = primavera - verano |

ACTINOGRAFO

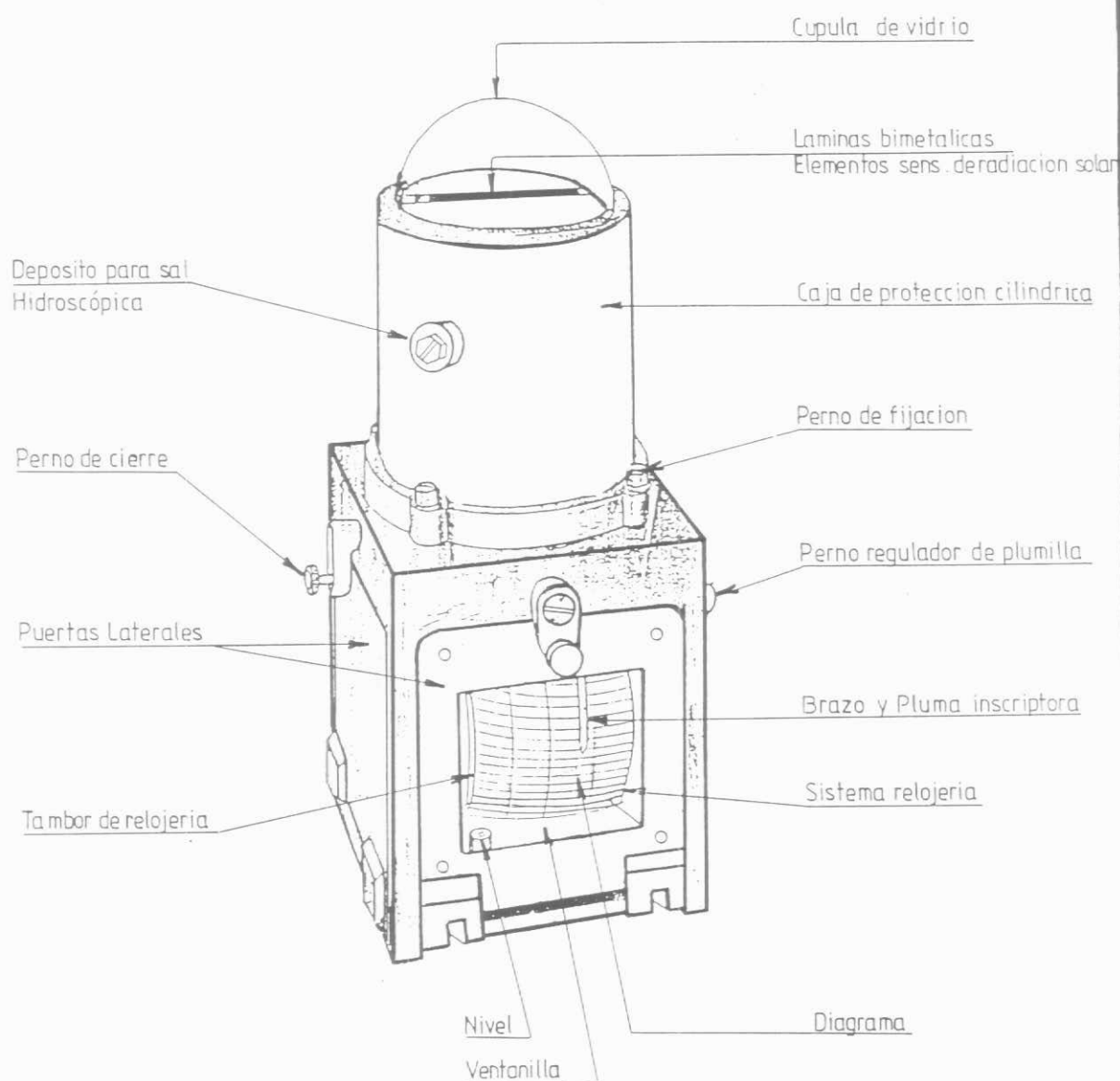


FIG. Nº 9

HELIOGRAFO 196

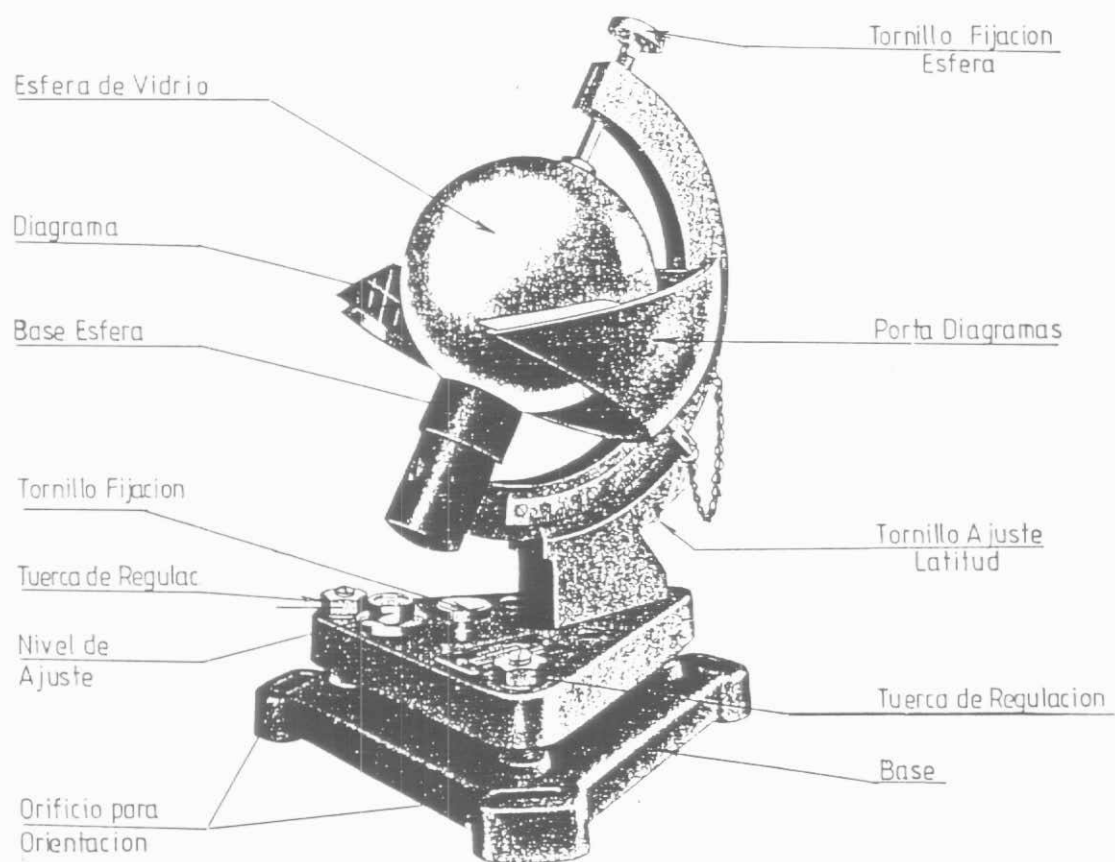


FIG. N° 10

3.- DE LA ELEVACION DE CADA INSTRUMENTO

La altura a la que se instalan los instrumentos meteorológicos es el que se indica a continuación.

1

a) Pluviómetro : Del nivel del suelo a la boca o anillo de captación debe tener una altura de 1.50 mts.

El instrumento tiene una altura de 0.44 mts. por lo tanto, para dar la elevación correspondiente debe considerarse un poste con un canastillo de soporte.

b) Pluviógrafo : La elevación es la misma del pluviómetro, este instrumento tiene una elevación de 1.15 mts. y para dar la elevación correspondiente, debe hacerse un poyo de hormigón simple fijando el instrumento mediante 3 pernos con tuerca de 6 mm. enterrados.

c) Evaporímetro : Su elevación se la da la base de madera y el nivel de agua, alcanza aproximadamente a unos 20 cm. dentro de él.

d) Anenómetro Totalizador : La elevación de las copas anemométricas, pasan el borde superior del evaporímetro 30 cm.. El aparato va montado sobre un tubo de fierro, que le sirve de apoyo y con su base a la altura del borde superior del evaporímetro.

e) Actinógrafo y Heliógrafo : Ambos van montados sobre un poste solidamente colocado y la elevación del elemento sensible de cada uno de ellos, es de 1.50 mts. sobre el nivel del suelo. En el caso del Actinógrafo, es la placa bimetálica y en el caso del Heliógrafo, el centro de la bola de vidrio. (fig. 9 y 10)

f) Veleta : Está montada sobre un poste de fe Ø de 2" x 6 mts de altura, desde la superficie del suelo e incorporada la

Veleta alcanza una elevación de 7.50 mts.

g) Cobertizo o Caseta Meteorológica : Es el lugar donde van instalados los siguientes instrumentos : Higrotermógrafo, Psicrómetro, Termómetro de Máxima y Termómetro de Mínima.

Sus características : es de madera y tiene las siguientes medidas : 70 cm de alto x 50 cm de profundidad x 80 de frente y va montada sobre una base de madera que tiene una altura aproximada de 170 cm. Esta Caseta o Cobertizo, tiene sus puertas orientadas hacia el Sur, debido que, debe evitarse que al abrir éstas, el instrumental que se encuentra en el interior, sea afectado por el sol y altere las lecturas en el momento que el observador deba realizar dichas observaciones.

La Caseta se ubica dentro del Cerco, generalmente al lado S. E., a fin de evitar influencias sobre el resto de los instrumentos que están dentro de la estación misma, por la altura que tiene ésta.

4. ATENCION DE ESTACIONES HIDROMETEOROLOGICAS

Son las actividades destinadas a mantener los instrumentos de las estaciones en correcto funcionamiento y extender las hojas de Inspección correspondiente.

MATENCION DE LAS ESTACIONES HIDROMETEOROLOGICAS

Son actividades destinadas a efectuar trabajos de reparación de los elementos que componen una estación, reparaciones menores de las estructuras, repintar los elementos, limpieza total de los instrumentos, su lubricación si fuera necesario, recambio de piezas desgastadas que no signifique desarmar totalmente el aparato (sistema de

relojería) y en general dejar la estación en óptimo estado de funcionamiento y presentación.

MEDICION DE ESTACIONES HIDROMETEOROLOGICAS

Son actividades destinadas a obtener datos básicos o primarios ya sea a través de su registro en gráficos o su obtención por medio de operadores.

INSTRUMENTOS

4.1. PLUVIOMETRO

ATENCION :

Una estación pluviométrica deberá ser visitada a lo menos una vez cada 30 días. En dicha visita deberán anotarse las lecturas mensuales que corresponda y revisar la libreta del observador dejando constancia, mediante la

firma de ella, de la visita efectuada. Deberá darse cuenta de la visita efectuada mediante el envío del formulario de inspección correspondiente, el cual se adjuntará a la lectura obtenida.

MANTENCION :

Para proteger tanto la instalación del cerco como la estación pluviométrica, deberán hacerse trabajos de conservación de pintura a lo menos una vez al año, según sean las condiciones ambientales en que se encuentra instalado el control. Deberá revisarse el pluviómetro procurando detectar las filtraciones que por oxidación pueda presentar. El brocal deberá tener los bordes

perfectos corrigiendo cualquiera variación que se haya producido.

MEDICION :

Todos los días a las 08:00 horas (12 GMT) deberá medirse a cantidad de agua caída, utilizando para ello la reglilla graduada correspondiente.

- Una vez efectuada la lectura correspondiente, deberá procederse a botar el agua dejando el instrumento en condiciones de registrar otra medida.
- Inmediatamente de efectuada la lectura debe ser anotada en la libreta que el observador tiene para ese objeto.
- Si por razones excepcionales no puede efectuarse la lectura en un día, podrá tomarse la cantidad acumulada de dos días, indicando este hecho con una nota en las observaciones .
- Si debido a una lluvia excepcional el colector llega a su capacidad máxima y rebasa hacia el exterior, deberá medirse esta cantidad de precipitación vaciandola al colector, procediendo a anotar como precipitación total la suma de ambas.

4.2. PLUVIOGRAFO

ATENCION :

Los instrumentos que poseen tambor de relojería semanal, deberán ser atendidos semanalmente efectuando las siguientes operaciones:

- Cambiar el gráfico y dar cuerda al reloj.

- Efectuar el sifonaje comprobando que el instrumento quede calado en lectura 0.0 mm.
- Verificar que el sifonaje se efectúa en forma correcta, repitiéndolo varias veces si fuera necesario.
- Verificar la hora del reloj y su funcionamiento.

MANTENCION :

Una vez al mes o en cada ocasión que sea necesario deberá efectuarse una mantención general la que consistirá en:

- Desarmar totalmente todo el sistema de sifonaje procediendo a su limpieza y recambio de piezas si es necesario.
- Proceder a su calibración debiendo quedar constancia de este proceso en un extremo del gráfico.
- Proceder a regular, o bien a informar, si el reloj experimentara variaciones superiores a una (1) hora en la semana.

MEDICION :

Mediante la probeta adecuada al tipo de instrumento deberá medirse la cantidad de agua en el colector cada vez que se efectúe algún trabajo en relación con este instrumento.

- Es necesario verificar a lo menos dos veces la cantidad de agua acumulada en el colector, la que deberá coincidir con el número de sifonajes que se encuentra registrado en el gráfico.

- Si la precipitación es menor de 10 mm y no se ha producido el sifonaje, deberá adicionarse la cantidad de agua que falte para producirlo, debiendo verificarse que la cantidad de agua en el receptáculo del flotador coincida con la indicada en el gráfico.

INSPECCION :

Durante una visita de inspección se deberá:

- Verificar el estado del instrumento, indicado las anomalías, si las hubiere. En este caso deberá indicarse:
 - a) Estado de sifón, de las gomas y arandelas de ajuste y de la manguera de conexión del receptáculo al colector.
 - b) Estado de los brazos y de las agujas inscriptoras.
- Verificar la cantidad de agua en el colector y en el receptáculo del flotador.
- Verificar que el sifonaje se efectúe dentro de los márgenes del gráfico.
- Verificar el funcionamiento del reloj.

4.3. EVAPORIMETRO

ATENCION :

Una vez cada 30 días deberá verificarse que el evaporímetro este perfectamente a nivel. Además deberá verificarse:

- Estado de los recipientes medidores.

- Estado del estanque del evaporímetro.
- Estado del agua, que debe estar limpia y clara.

MEDICION :

Diariamente debe reponerse el agua que se ha evaporado, dejándolo a nivel con el indicador de aguja que el evaporímetro posee.

- La lectura de la evaporación debe efectuarse usando para ello las medidas que el instrumento posee. La de mayor dimensión corresponde a la evaporación de 1 mm y la menor dimensión a 0,1 mm.
- Igualmente en caso de haber aumentado el nivel en el estanque, por precipitaciones, debe efectuarse la lectura usando las mismas medidas, procediendo a retirar el agua en este caso.
- Las lecturas deberán ser anotadas inmediatamente en la libreta del observador.

MANTENCION :

Para que la medida sea representativa, es necesario que el agua del estanque este siempre limpia, para lo cual, según sean las condiciones del lugar donde se encuentra instalado deberán programarse los cambios que sean necesarios.

El estanque deberá estar siempre con agua en estado líquido. Si las condiciones de temperatura favorecen la formación de hielo, deberá agregarse al agua una solución anticongelante. Se recomienda el uso de sal común en la proporción de 52 Kgs para la cantidad total de agua hasta el nivel de enrase del indicador de aguja.

Deberá tenerse la precaución de eliminar cualquiera oxidación que se presente. Por ello, el estanque deberá ser raspado y pintado con pintura antióxido; una vez seco, se pintará con esmalte blanco.

4.4. TERMOMETROS

ATENCION :

Una vez cada 30 días deberá verificarse:

- La correcta instalación de los termómetros dentro de la caseta o cobertizo meteorológico.
- Que las columnas de mercurio o alcohol, según sea el tipo de termómetro, no estén cortadas.
- Que las lecturas del observador se encuentren al día.
- Las condiciones de limpieza tanto del instrumental como de la caseta o cobertizo.
- Las condiciones de instalación de la caseta o cobertizo que garantice la ausencia de vibraciones que puedan alterar la lectura de los termómetros.

MANTENCION :

En forma mensual deberá efectuarse una limpieza general del cobertizo meteorológico como, igualmente, de los termómetros.

- En caso de registrarse la presencia de burbujas en las columnas del elemento sensible, deberá reemplazarse el termómetro por uno nuevo.

MEDICION :

Temperatura instantánea del aire:

Este tipo de lectura debe ser efectuada en forma rápida para evitar la alteración del dato debido a la proximidad de la persona que efectúa la lectura.

Debido a la graduación con que se fabrican los termómetros, las lecturas deberán expresarse en grados enteros y décimas de grados.

Temperatura Mínima del aire

Para obtener este dato debe usarse un termómetro de mínima que posee la característica de que el elemento sensible esta constituido por un depósito de alcohol, el cual se desplaza por una columna en la cual se encuentra un menisco que posee la característica de ser arrastrado por el alcohol cuando se contrae, permaneciendo fijo cuando el alcohol se dilata. De esta manera al descender la temperatura, el menisco también desciende quedando fijo en la menor temperatura que se haya registrado. Para normalizar el instrumento y dejarlo en condiciones de registrar un nuevo dato, debe ponerse en posición vertical, con el depósito hacia arriba, pudiendo observarse cómo el menisco se desplaza hasta el punto donde se encuentra el extremo de la columna de alcohol. La lectura de la temperatura se hará en grados enteros y décima de grados. El termómetro de mínima debe estar colocado en posición horizontal en la caseta.

Todos los días a las 20.00 horas, deberá medirse la temperatura mínima .Ella quedará registrada gracias al menisco y deberá leerse siempre al lado derecho de éste (en el extremo más alejado del bulbo).Una vez efectuada la lectura,se retira el termómetro y se normaliza dejando correr el mercurio hasta el extremo superior de la columna de alcohol,procediendo a colocarlo en su soporte.

Temperatura máxima del aire:

Para obtener este dato debe usarse un termómetro de máxima, que posee la característica de tener una estrangulación a la salida del depósito de mercurio, de modo que permite la salida del mercurio cuando la temperatura aumenta, impidiendo en cambio su retorno al depósito cuando la temperatura disminuye. Esta característica permite leer el dato de la temperatura máxima registrada. La lectura de la temperatura se hará en grados enteros y décimas de grados.

Todos los días a las 20.00 horas se efectuará la medición teniendo cuidado de normalizarlo posteriormenete. Para ello se retira y se toma de la parte superior dejando el bulbo hacia abajo. Con dos o tres movimientos bruscos del brazo,se une la columna de mercurio y se vuelve a instalar en sus soportes.

Temperatura del aire seco y humedo (Psicrómetro)

Por medio de estos datos se obtiene, en forma indirecta, la humedad relativa del aire. Para obtener los datos se utilizan dos termómetros corrientes, mercuriales, que estarán .

colocados en forma vertical dentro del cobertizo. Adosado al depósito de uno de ellos habrá una muselina que, unida por medio de algodón a un depósito de agua destilada, estará permanentemente húmeda. La diferencia de temperatura que existirá en ambos termómetros (depresión) nos permitirá, mediante una tabla psicrométrica, obtener la humedad relativa del aire para la altitud de presión de la estación.

Deberá leerse, ambos termómetros (seco y húmedo) diariamente a las 08.00, 14.00 y 20.00 horas. Se debe tener en cuenta que la temperatura del húmedo, como máximo, podrá ser igual a la del seco. Lo normal es que siempre sea inferior a la de este

4.5. HIGROTERMOGRAFO

ATENCION :

Todos los días lunes, de cada semana, deberá procederse a cambiar el gráfico, operación que debe ser efectuada a las 08:00 Hrs. (12 GMT).

Al poner o retirar el gráfico deberá estamparse en el dorso del gráfico, lo siguiente:

- a) Cuenca
- b) Nombre de la Estación
- c) Fecha y hora de colocación y retiro del gráfico.

Deberá verificarse que las plumas posean suficiente cantidad de tinta.

Si el reloj registra variaciones, respecto al tiempo real, superior a una hora semanal, deberá regularse o dar aviso de ello.

MANTENCION :

- Una vez cada 30 días deberá procederse a efectuar una limpieza total del instrumento.
- En la misma oportunidad deberá procederse a regenerar los cabellos, para lo cual éstos deben primero limpiarse con agua destilada usando para ello un pincel de pelo de camello, para no deteriorarlos. En seguida deberá cubrirse completamente el higrógrafo con un paño húmedo lo cual producirá la regeneración de los cabellos en un lapso de tiempo de alrededor de 30 minutos, después de lo cual quitando el paño se dejará normalizar los cabellos a la humedad ambiental.

Al efectuar este proceso deberán anotarse los siguientes datos:

- a) Humedad del higrógrafo. Humedad real media con un psicrómetro de aspiración u otro debiendo indicarse la temperatura del bulbo seco y la del húmedo.
 - b) Humedad máxima alcanzada en el gráfico después de haber tenido tapado el higrógrafo con el paño húmedo.
 - c) Lectura simultánea de humedad en el gráfico, después de haberse ambientado, con lectura de humedad real medida con psicrómetro.
- Cualquier variación de la humedad indicada en el gráfico respecto a la humedad real superior a un 4%, deberá ser corregida.

4.6. ANEMOMETRO BAJO (TOTALIZADOR)

ATENCION :

- Una vez cada 30 días deberá verificarse el buen funcionamiento de las cazoletas, debiendo éstas estar sin abolladuras y pudiendo girar libremente sin ningún ruido de rozamiento.
- La tapa-vidrio del dial deberá limpiarse de modo que la lectura sea claramente visible.

MEDICION :

Diariamente a las 08:00 Hrs (12 GMT) deberá leerse la indicación, la que se anotará con todas las cifras del indicador a pesar de que hayan ceros a la izquierda. Igualmente se indicará la exacta ubicación de la coma indicadora de los cientos de metros.

MANTENCION :

- Una vez cada 6 meses deberán demontarse las cazoletas y lubricarse el rodamiento sobre el cual desliza el eje de ellas.
- Se deberá limpiar la tapa-vidrio.

4.7. ACTINOGRFO

ATENCION :

Todos los días Lunes a las 08:00 Hrs. (12 GMT), o cada 30 días, debe procederse a cambiar el gráfico.

- En el momento de retirar o poner un gráfico debe ponerse el día y hora de retiro o colocación.

- Debe verificarse que las plumas posean la suficiente cantidad de tinta
- Debe darse cuerda al reloj
- Debe limpiarse el polvo que pueda haberse depositado.

MANTENCION :

Por la naturaleza de este instrumento la mantencion deberá efectuarse, en lo posible, en Laboratorio.

4.8. HELIOGRAFO

ATENCION :

- Diariamente a las 08:00 hrs. (12 GMT) debe cambiarse la cinta registradora.
- La esfera de vidrio debe mantenerse limpia de polvo.
- Debe tenerse la precaución, según sea la época del año, de usar las cintas que correspondan.

MANTENCION :

Cada seis meses debe verificarse su orientación respecto al Norte geográfico y si está colocado con la inclinación magnética indicada para la latitud del lugar.

Periódicamente debe verificarse si el instrumento se encuentra a nivel.

4.9. ANEMOCINEMOMETRO

ATENCION :

Diariamente a las 08:00 Hrs. deberá anotarse la Dirección e intensidad del viento.

MANTENCION :

La veleta deberá instalarse entre 4 y 6 mts. del suelo.

- Deberá verificarse el libre recorrido de la veleta.
- Deberá verificarse el estado del goniómetro y el recorrido libre de la plancheta.
- Verificar la tensión de los cables.

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA

HIDROGEOLOGIA

1991

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCION
2. METODOLOGIA
 - 2.1. UBICACION DE POZOS EN PLANOS O FOTOMOSAICOS
 - 2.2. CODIFICACION DE POZOS
3. MEDICION DE NIVELES DE AGUAS SUBTERRANEA
 - 3.1. DEFINICION DEL P.M.
 - 3.2. LABORES COMPLEMENTARIAS
 - 3.3. PROGRAMA DE CONTROL DE NIVELES
 - 3.4. DENSIDAD DE LA RED DE POZOS CONTROLADOS
 - 3.5. CARACTERISTICAS DE HABILITACION
4. REDES DE MEDICION
 - 4.1. OBJETIVOS
 - 4.2. CRITERIOS BASICOS DEL DISEÑO
5. METODOLOGIA OPERACIONAL
 - 5.1. DESCRIPCION DEL EQUIPO DE MEDICION
 - 5.2. INSTRUMENTOS AUTOMATICOS
 - 5.3. INSTRUMENTOS MANUALES
 - 5.4. HUINCHA METALICA
 - 5.5. Sonda electrica
6. MEDICION DE NIVELES SEGUN HABILITACION DE POZOS
 - 6.1. POZOS SIN EQUIPOS DE BOMBEO
 - 6.2. POZOS CON ANTEPOZOS
 - 6.3. POZOS CON EQUIPO DE BOMBEO

CONTINUACION INDICE

- 6.4. POZOS CON BOMBAS DE EJE VERTICAL CON MOTOR EN LA SUPERFICIE
- 6.5. POZOS CON BOMBAS DE MOTOR SUMERGIDO
- 7. FORMULARIO N-1 AGUAS SUBTERRANEAS CONTROL DE NIVELES
- 7.1. FUNCIONES

MEDICION DE NIVELES DE AGUAS SUBTERRANEAS

1. INTRODUCCION

Se llaman aguas subterráneas a las existentes entre los intersticios del terreno, bajo su superficie.

La apertura de pozos para captar aguas del subsuelo es realmente una de las prácticas más antiguas del hombre. De ellos son verdaderamente notables los Kanats persas, egipcios y chilenos, galerías de enorme longitud excavada en areniscas, en donde la escasez de medios de perforación y transporte estaba a menudo suplida por el ingenio de sus constructores.

A pesar de la antigüedad de estos conocimientos prácticos sobre el alumbramiento de aguas subterráneas mediante pozos, el verdadero desarrollo de las técnicas científicas de explotación y captación de ellas ha tenido lugar recientemente, en los últimos 50 años. Las modernas técnicas de sondeos, el empleo de equipos modernos, especialmente la bomba vertical sumergida, accionada por motores eléctricos, han sido factores determinantes del incremento reciente del uso de las aguas subterráneas, sobre todo en aquellos países de un desarrollo industrial elevado.

El agua escurre a través de medios permeables llamados acuíferos, que pueden encontrarse en cada punto de su superficie sometida o no a la presión atmosférica.

La existencia de acuíferos semiconfinados o semiartesianos es común en nuestro país, donde más bien que acuíferos propiamente tal, hay zonas acuíferas cuya extensión es a veces

restringida y estan asociadas a las características de sedimentación.

POZOS. Son perforaciones hechas artesanal o mecánicamente, con el fin de obtener aguas del subsuelo.

Los métodos casi exclusivamente en uso en la actualidad son de sondeo mecánico por percusión o rotación.

Pozos convencionales o norias

Desde tiempos inmemoriales, y antes de la introducción de estas nuevas técnicas, era obligado excavar los pozos a mano, es decir, mediante la acción física de uno o varios hombres picando y extrayendo el material desde el interior del pozo. Este hecho obliga a darle a su sección las necesarias dimensiones (generalmente no menos de 1,5 m. de diámetro de dimensión mínima si un hombre ha de picar y cargar con relativa eficacia) y, en general, a disponer un sistema de entubación (casi siempre de madera o de ladrillo, usualmente de sección circular).

Existen otros tipos de norias que corresponden a los denominados Pozos indios o anillo del inca. el método consiste en la ejecución de un revestimiento cilíndrico, generalmente de hormigón, a veces de albañilería armada que, inicialmente construido en la superficie del terreno, va hincándose en él mediante excavación de la tierra en la tierra en su interior. Ver fig. 1.

Galería de Captación

Son estas conducciones casi horizontales que se internan en las formaciones permeables, donde captan sus aguas y las

conducen a la superficie o a pozos o artesas de toma. Se distinguen dos tipos de estructuras: zanjias colectoras y las galerías de captación propiamente tal.

Las zanjias colectoras están excavadas desde la superficie, modernamente a máquina, hasta la necesaria profundidad por debajo de la capa freática y después son rellenas de material permeable. Frecuentemente se dispone en ellas una tubería permeable que facilita el transporte del agua captada, (hormigón poroso, tubo con ranuras). La zanja, tal como se aprecia en la fig. 2 tiene una ligera pendiente y descarga a una zanja de toma.

Colectores Horizontales.-

Los colectores horizontales consisten en tuberías perforadas o con juntas abiertas colocadas en una zanja que se rellena con material filtro.

Existe también otro tipo de colectores horizontales denominados zanjias de drenaje, los cuales son normalmente de forma trapecial cuya profundidad depende de la posición de la napa que se desea drenar o intersectar, cuya esquematización se presenta en la fig. 3

Pozos profundos

Son aquellos que se basan en un cuidadoso diseño, apoyado en un adecuado conocimiento de las formaciones geológicas perforadas durante su construcción, y cuya características, entre otras cosas, determinan el tipo de máquina y herramientas

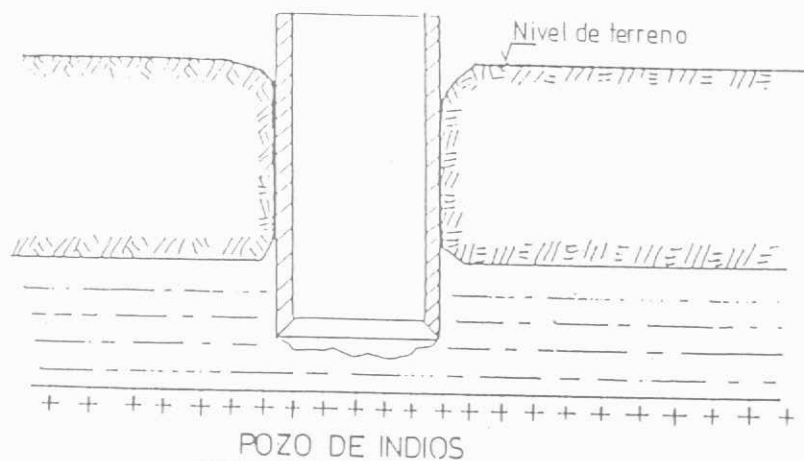


FIG 1



FIG 2

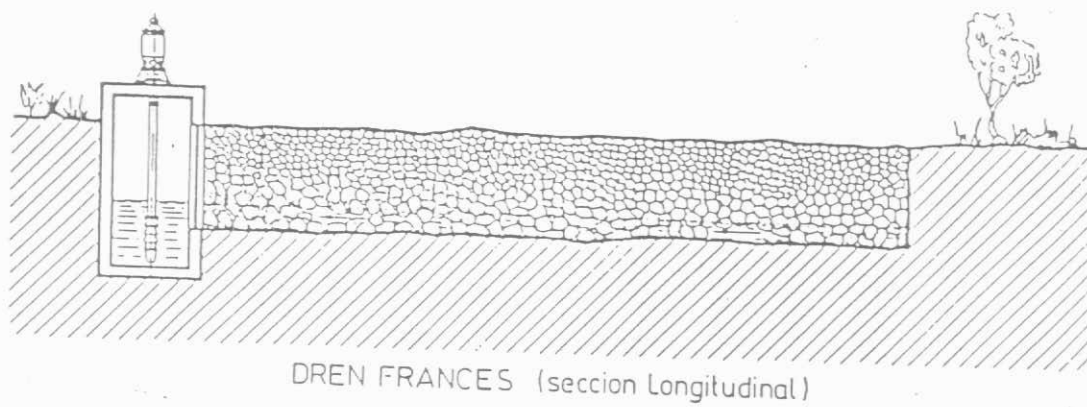


FIG 3

adecuadas, así como los procedimientos de construcción que se deban emplear con la finalidad de llevar tal estructura a su feliz término; y aun más, a un óptimo aprovechamiento de las mismas, ya que frecuentemente los costos de explotación de un pozo, con el tiempo, durante su vida útil o económica, restan importancia a lo invertido originalmente en su construcción.

En un pozo perforado, la producción de agua, su vida útil o tiempo de duración de la explotación y su rentabilidad, dependerán de su realización técnica. La profundidad del pozo es un parámetro fundamental, y generalmente es posible determinarlo con antecedentes provenientes de otros pozos construídos en la zona o estudios hidrogeológicos preliminares.

En numerosos países se realizan catástros o registros de los pozos profundos existentes, que se agrupan según sus respectivas hoyas hidrográficas. En nuestro país, esta labor la desarrolla la Dirección General de Aguas.

2. METODOLOGIA

La experiencia demuestra la conveniencia de que previo a establecer programas de control de la superficie freática es necesario realizar labores que podrán calificarse como un tanto ajenas al programa; ellas tienen relación con la ubicación e identificación de los pozos perforados en la cuenca que se desea controlar.

El no realizar lo mencionado en el párrafo anterior impedirá el procesamiento de datos y comprometerá la exactitud de la estadística obtenida, permitiendo que con el tiempo se produzcan confusiones debido a la deficiente individualización de cada pozo.

2.1 Ubicación de pozos en planos o fotomosaicos

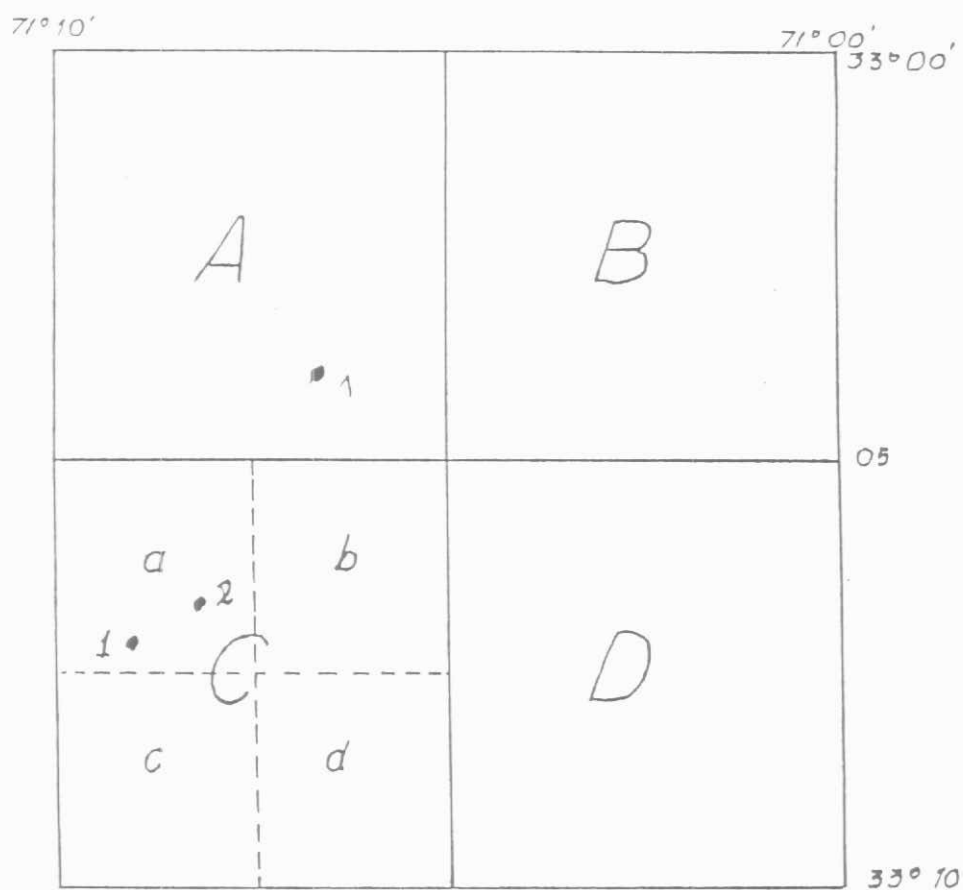
Los pozos puedan ubicarse en planos o fotomosaicos a escala 1:20000, 1:50000 ó a 1:100000, con coordenadas geográficas, las que permitirán, más adelante, su numeración definitiva.

Esto se realiza considerando a la hoya hidrográfica como unidad de trabajo, en ella se ubican la totalidad de los pozos, cuyos antecedentes han sido obtenidos previamente.

2.2 Codificación de pozos

Se ha implantado un sistema de codificación o numeración de pozos basado en coordenadas geográficas. Esto consiste en dividir el país en cuadrángulos de 10 x 10 minutos de latitud y

CODIFICACION DE POZOS



<u>Ejemplos</u> :	<u>Coordenadas</u>	<u>Sector</u>	<u>Nº</u>
	$33^{\circ} 00' - 71^{\circ} 00'$	A	1
	$33^{\circ} 00' - 71^{\circ} 00'$	Ca	2

fig. 4

longitud respectivamente. Cada uno de ellos queda determinado por las coordenadas de su vértice superior derecho. Estos cuadrángulos se dividen a su vez en cuatro subcuadrángulos o sectores, identificados por las letras mayúsculas A, B, C, D y los pozos se ubican numerándolos correlativamente. Aquellos sectores en que existe gran cantidad de pozos, se les divide nuevamente en cuatro partes o subsectores denominándolos con las letras minúsculas a, b, c, d, y en este caso se numeran correlativamente los pozos situados en cada uno de ellos. Resumiendo, un pozo queda definido en primer término, por las coordenadas geográficas del cuadrángulo en que se ubica, seguido por la letra mayúscula que identifica al sector, y por el número de orden asignado a cada pozo dentro de su respectivo sector. En caso que el sector se halla subdividido, la numeración estará constituida por la identificación del cuadrángulo, la letra mayúscula del sector, la letra minúscula del subsector y el número de orden (Fig. 4). En todo caso el enrolamiento de los pozos le corresponde al Banco Nacional de Aguas del Departamento de Hidrología.

3. Medición de los niveles de agua subterránea

3.1 Definición del punto de medida

El control de nivel de pozos debe referirse siempre al mismo origen, por lo que para fines prácticos se le denomina "Punto de Medida" (Fig. 5).

El Punto de Medida (P.M.), debe quedar marcado en el pozo y definido literalmente en un croquis en el que se indica la configuración del terreno circundante, las instalaciones de bombeo, la fecha a contar de la cual está vigente y la altura a que se encuentra con respecto al nivel del terreno.

ESQUEMA GENERAL DE UBICACION DEL PUNTO DE MEDIDA

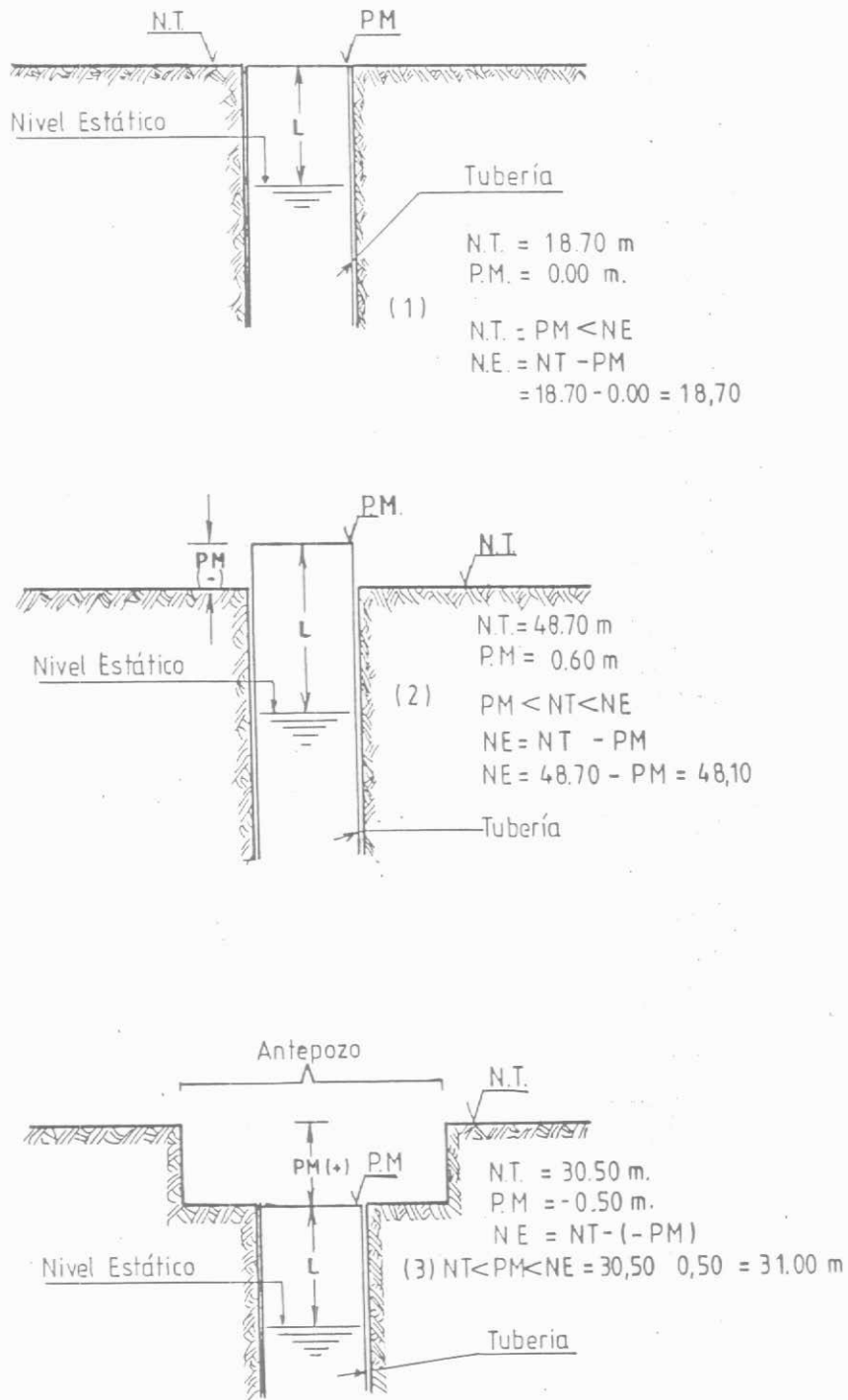


fig. 5

La altura a que se sitúa el punto de medida (P.M.), con respecto al nivel del terreno, puede ser positiva o negativa, según se ubique sobre o bajo dicho nivel.

Para los efectos de graficar las medidas en términos de limnigramas, será preciso referirlas previamente al nivel del terreno, para lo cual hay que restarle la altura existente entre dicho nivel y el punto de medida.

3.2 LABORES COMPLEMENTARIAS

Una vez asignada la numeración en base a las coordenadas de cada pozo, debe realizarse en terreno lo siguiente:

- Pintar las coodenadas de cada pozo
- Seleccionar el punto de medida, marcar dicho punto en el pozo y confeccionar el croquis de las instalaciones.
- El punto de medida debe referirse a un PR inalterable, independiente de la instalación y que debe estar referido a la cota del terreno.

3.3 PROGRAMA DE CONTROL DE NIVELES

La Dirección General de Aguas, debe mantener una red de medición de pozos, de tal manera que la información allí generada pueda ser utilizada para determinar la variación de los niveles, la cantidad y calidad del recurso. Ello debe ser posible con los antecedentes obtenidos en terreno en las distintas cuencas del país.

La primera etapa tiene por finalidad, aportar los antecedentes necesarios para implementar programas de control más estables y definitivos y su duración dependerá de las condiciones hidrológicas propias de la cuenca.

En la selección de los pozos que se controlan periódicamente durante esta etapa, se tendrán presente los siguientes aspectos:

3.4 Densidad de la red de pozos controlados

Mientras se desconozcan las características de la superficie piezométrica, se deberá medir la mayor cantidad de pozos disponibles. El criterio anterior es necesario conjugarlo con los medios materiales con que se cuenta para obtener la estadística lo más completa posible.

3.5 Características de habilitación

Es importante conocer estas características en los pozos controlados, pues a través de ellos pueden detectarse futuros problemas que pudieran invalidar la estadística o comprometer su precisión. Todos los antecedentes que caracterizan al pozo deben figurar en la bitácora: diámetro, profundidad total, profundidad habilitada, estratigrafía, etc.

4. REDES DE MEDICION

La Dirección General de Aguas, dentro de las atribuciones y funciones que le confiere el Código de Aguas, debe investigar el recurso hídrico, por ello una de las actividades que debe realizar es mantener y operar el servicio hidrométrico nacional.

En la actualidad de D.G.A., mantiene una red nacional de medición de niveles de agua subterránea en aproximadamente 500 pozos, que se irán incrementando en la medida que se agreguen los pozos recomendados en el análisis crítico de la red de medición de niveles de agua subterránea éstos se reparten entre las regiones I, II, III, IV, V, VI y XIII, se agregarán las mediciones de las regiones VII y VIII (cuadro N° 1)

CUADRO N° 1

REGION	CATASTRO DE POZOS	SIN UBICAR	POZOS CON MEDIDA DE NIVELES
I	566	8	78
II	489	52	49
III	164	4	89
IV	431	66	117
V	863	78	83
VI	399	52	72
VII	256	86	-
VIII	320	69	-
IX	59	59	-
X	68	68	-
XI	2	2	-
XII	0	0	-
XIII	1648	96	64
TOTAL	5265	640	534

4.1 OBJETIVOS

Los objetivos de la red de medición de aguas subterráneas es diseñar una red mejorada que sea capaz de representar la superficie piezométrica y registrar las fluctuaciones de niveles y evolución físico-química de las aguas subterráneas.

Permite identificar zonas de recarga y descarga principales, suministrar datos estadísticos e hidrológicos adecuados relativos a cambios en el almacenamiento de agua subterránea que pueden provenir tanto de la recarga natural como de causas artificiales a nivel de cuenca, subcuenca o unidad hidrogeológica.

Ayuda a la evaluación de los recursos de agua subterránea en cantidad y calidad.

El programa destinado a controlar las fluctuaciones estacionales del agua subterránea, puede orientarse hacia los siguientes objetivos:

- Determinar zonas de recarga y descarga.
- Detectar fenómenos de sobre explotación.
- Aportar antecedentes para realizar estudios hidrogeológicos.
- Velar por la preservación del recurso subterráneo.

Para realizar este programa de control, es necesario definir los objetivos de él, ya que se pueden orientar hacia control de fenómenos específicos, tales como, intrusión salina (zonas costeras), recarga, sobre-explotación de acuíferos, o bien cumplir objetivos generales que deberán ser capaces de aportar antecedentes, o al menos detectar la presencia de fenómenos específicos.

4.2 CRITERIOS BASICOS DEL DISEÑO

La red de agua subterránea debe tener una cobertura nacional, la densidad de observación depende de las características de cada cuenca o unidad hidrogeológica. Para el diseño de la red se consideraron los siguientes aspectos:

- La característica de los acuíferos; los materiales que lo constituyen, periodicidad de las oscilaciones, relación de descarga-recarga, relación río acuífero, lago-acuífero, etc.
- El grado de explotación a que se ve sometido el recurso subterráneo en las cuencas, es muy diverso, variando de muy intenso en los sectores del norte, hasta muy escaso por el sur del país, y el peligro de intrusión salina en algunos acuíferos costeros y en los bordes de los salares de las cuencas altiplánicas, indican que la red óptima nacional debe tener cierta jerarquización.

Esto implica que la frecuencia y densidad de pozos es distinta para cada zona. Se entiende por alta densidad, aquella área que tiene entre 50 y 200 pozos por Km². Por esta razón se clasifican las zonas en áreas a medir.

a) Areas de explotación intensiva a crítica

Para este tipo de área se deberá instalar equipos de registro continuo, alta frecuencia de medición, alta densidad de puntos.

b) Areas de equilibrio y demanda potencial.

En estas áreas el agua subterránea, es utilizada con fines de abastecimiento de la población, y para riego, en forma complementaria al recurso superficial.

c) Areas subexplotadas.

En estas áreas se hace uso del recurso subterráneo en forma localizada.

La red que en estos acuíferos se necesita, podría ser suficiente con una densidad de puntos y frecuencia de medición inferior a los otros casos.

d) Areas con peligro de intrusión salina o contaminadas.

Peligro de intrusión salina se presenta en algunos acuíferos costeros explotados con el fin de dotar de agua potable a zonas urbanas adyacentes, y en los bordes de algunos salares de las cuencas altiplánicas explotadas para el abastecimiento de agua para la minería.

En áreas urbanas se producen problemas de contaminación por vertido de basuras, líquidos, vertidos en ríos conectados con acuíferos, etc.

Todas estas áreas tienen una frecuencia de medición distinta:

- a) Con registro continuo y control físico químico.
- b) Medición mensual o bimensual de niveles.
- c) Medición trimestral de niveles.
- d) Medición mensual de niveles, registro continuo y análisis físico químico del agua.

3. METODOLOGIA OPERACIONAL

5.1 Descripción del equipo de medición

Los instrumentos empleados en la medición de la superficie freática o piezométrica pueden ser automáticos o manuales.

5.2 Instrumentos automáticos

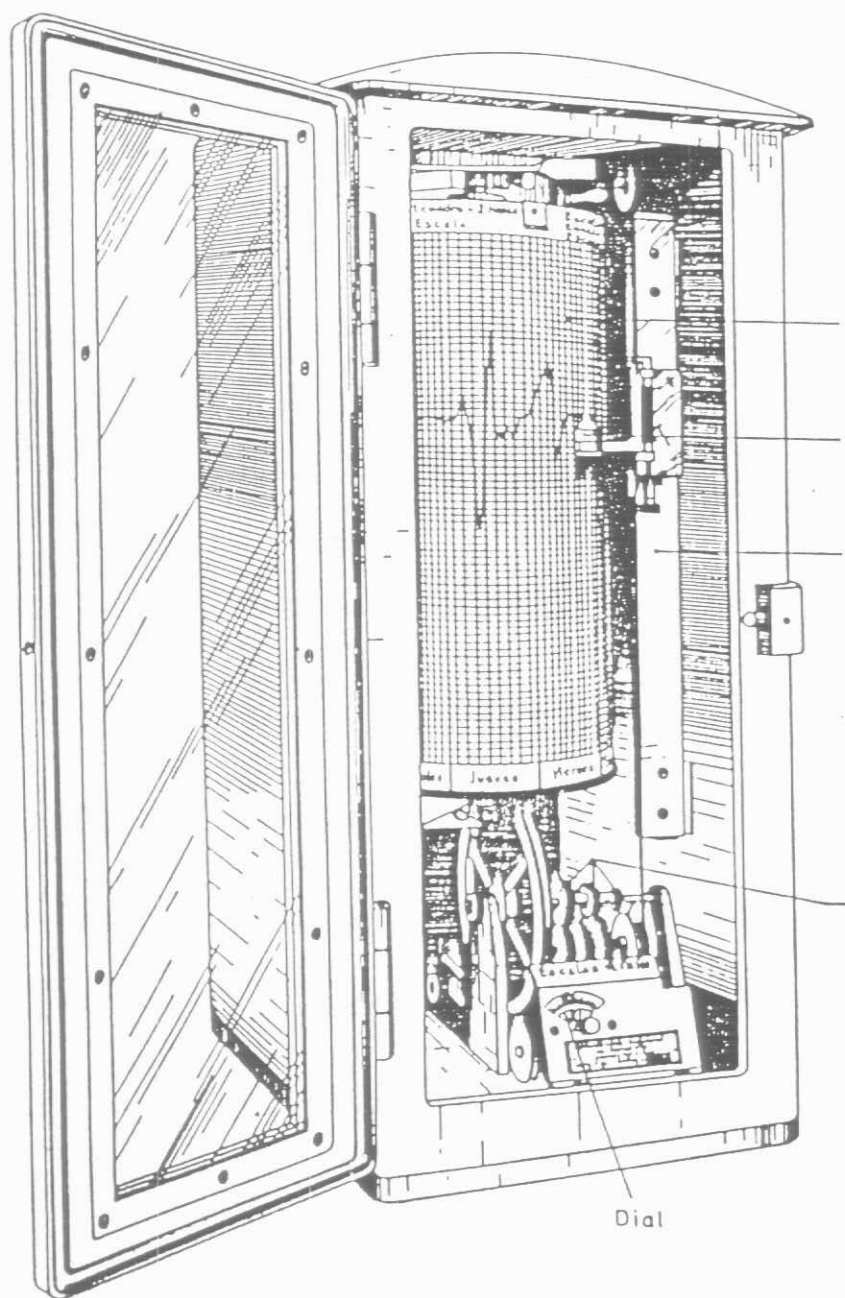
Son registradores continuos, con dispositivos impresores, fig. 6

El mecanismo que regula el tiempo es accionado por reloj a cuerdas, pesas o también medios eléctricos, empleando para ello pequeñas baterías.

La autonomía varía según el modelo y la escala empleada, y va desde una semana a seis meses. El mecanismo de control de profundidad puede operar a distintas escalas; es accionado por un sistema de cable que pasa por una polea calibrada; de uno de sus extremos cuelga un flotador, cuyo diámetro está por lo general comprendido entre 4" y 6", y, del otro, un contrapeso del flotador. En este caso, con un sistema similar al que emplean los limnigrafos en las estaciones fluviométricas.

El empleo de estos registradores automáticos requiere que el pozo cumpla con las siguientes condiciones:

1. No debe disponer de equipo de bombeo
2. Su diámetro debe ser por lo menos 2" mayor que el del flotador que controla el mecanismo impresor del instrumento.



REGISTRADOR CONTINUO. LIMNIGRAFO
fig. 6

5.3 Instrumentos manuales

Este tipo de instrumento es el mas usado en el control de la superficie piezométrica ya que se adapta mejor a las condiciones del terreno y es mucho mas económico, aunque no proporcionan un registro continuo sino que de una medida instantánea de la profundidad del nivel freático. (fig. 7). Estos instrumentos son los siguientes:

5.4 Huincha metálica

Consiste en una huincha de acero graduada de 1/4", que se introduce en el pozo algunos metros por debajo del nivel del agua. La medida se obtiene restando el trozo de huincha que salió mojado del total de los metros introducidos. (fig. 7)

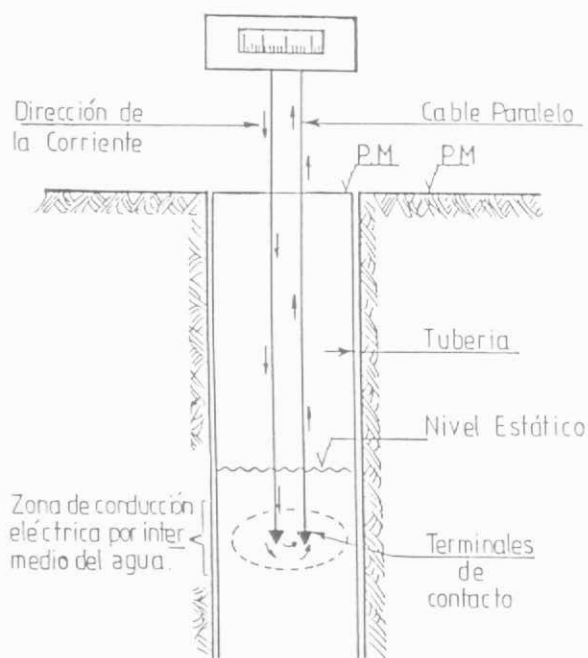
5.5 Sonda eléctrica

Es sin duda el instrumento más usado en la medición de la superficie piezométrica. Se le designa con los nombres de midiómetro o pozómetro (fig.7). Consiste básicamente en un carrete que lleva enrollado un cable eléctrico del tipo paralelo plástico con un electrodo en su extremo libre. Este cable está conectado a un circuito eléctrico incorporado al carrete y que además cuenta con una pequeña batería, interruptor y un miliamperímetro o chicharra y ampollita señalizadora. Al sumergir en agua el electrodo se cierra el circuito, activándose, por lo tanto uno de los sistemas de señal recién nombrados.

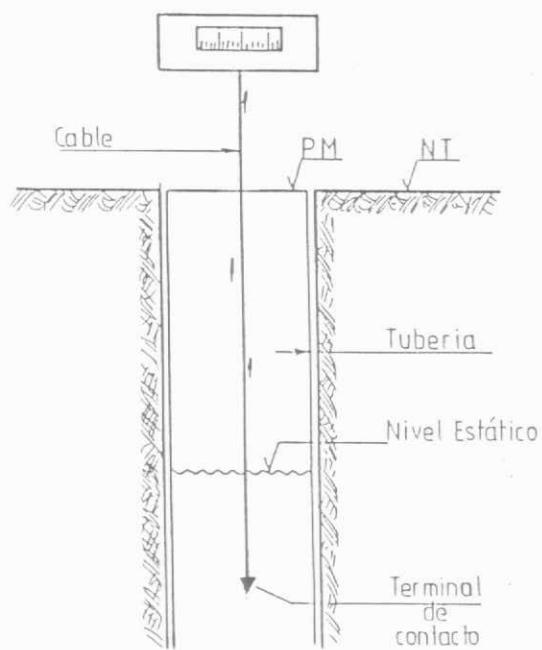
El cable se encuentra marcado según el sistema métrico, con pequeñas láminas de metal con números estampados que van comúnmente cada metro. (fig.7)

Los inconvenientes que presenta este instrumento se relacionan con las características mecánicas del cable y su

INSTRUMENTO REGISTRADOR DOS VIAS



INSTRUMENTO REGISTRADOR UNA VIA



POZOMETRO



HUINCHA

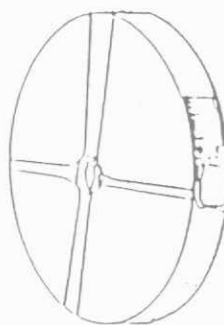


FIG 7

sistema de marcación. En efecto, dicho cable tiene la tendencia a experimentar elongaciones como consecuencia de los múltiples tirones que experimenta cuando se traba; y las marcas por su parte tienden a correrse cuando rozan las instalaciones. De lo expuesto anteriormente se desprende la necesidad de comprobar regularmente las condiciones en que se encuentra el cable, pues de lo contrario se corre el riesgo de que las medidas obtenidas sean falsas.

Existen otras versiones de la sonda eléctrica; una de ellas consiste en que el cable usado es monofilar en lugar de bifilar. En este caso, el circuito se cierra a través de la tubería del pozo, tiene la ventaja de ser más liviano, económico y tener un electrodo más delgado.

6. MEDICION DE NIVELES SEGUN HABILITACION DE POZOS

En este punto se describe las diversas situaciones que se pueden presentar, al efectuar la medición del nivel de un pozo y el cuidado que es necesario tomar para obtener medidas más exactas.

El procedimiento para medir niveles estáticos es el siguiente:

1.- Contar con un pozómetro y/o huincha metálica de 100 metros (Lufkins).

2.- En el caso de usar un pozómetro verificar si el instrumento está en buenas condiciones, vale decir si las pilas están en buen estado, si estos contactos tienen aislamiento conveniente, que el cable bipolar tenga marcas que indiquen el largo del cable, que el carrete esté en buenas condiciones, que el amperímetro esté en perfecta condiciones.

Si se utiliza la huincha metálica, se deberá tener en cuenta que: La huincha tenga el largo adecuado; que los números sean legibles, que al hacer medidas deberán hacerse por lo menos unas tres veces y promediar para evitar errores.

En ambos casos, en las mediciones con pozómetro y con huincha, hay que tomar en cuenta algo que es muy importante, "la paciencia", pues cuando se hacen mediciones de pozos y piezómetros algunos tienen más dificultad que otros, como ocurre con los pozos profundos. Como es de todos conocidos no sólo se miden pozos de observación sino también pozos de explotación, que junto con la bomba de profundidad tiene una cablería que permite que llegue hasta ellos la energía eléctrica, estos cables enredan tanto al pozómetro como a la huincha, por lo que hay que manipularlos con cuidado.

El resultado de estas mediciones se pueden representar, por medio de limnigramas que tienen la virtud de facilitar el control del hidromensor como la del funcionario que controla la medición del nivel de aguas subterráneas.

El limnigrama da la variación del nivel del agua en los pozos y se confeccionan a partir de los datos obtenidos, mediante medidas tomadas con una huincha métrica, con sondas eléctricas, por el tiempo de reflexión de una onda sonora, o partir de registros continuos obtenidos mediante limnigrafos.

Estos limnigramas son una fuente de diagnóstico hidrogeológico importante. Los datos referentes a un largo periodo de tiempo proporcionan una valiosa información tanto acerca del caudal de explotación de un acuífero como de su recarga.

La fig. N°8 corresponde al limnigrama de un pozo de la Región Metropolitana en el que su representación muestra el gráfico con la identificación del Banco Nacional de Aguas del pozo y el gráfico correspondiente.



REPUBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA
SUBDEPTO. OPERACION Y CONTROL
ASG

LIMNIGRAMA

CODIGO BNA

HOYA

01310113-2

San José

POZO



NORIA



ESTACION

Escuela Chitita N° 28



LIMNIGRAFO

fig. 8

6.1 Pozos sin equipo de bombeo

Estos pozos no presentan dificultades para realizar la medición del nivel estático.

La única precaución que se debe considerar se refiere a aquellos pozos contruidos con una reducción de diámetro por encima del nivel estático. En ellos es posible que el pozómetro por error se introduzca entre ambas tuberías que conforman la reducción, espacio en el que eventualmente puede encontrarse agua, acusándose por consiguiente un nivel falso, llamado nivel colgado (Fig. 9).

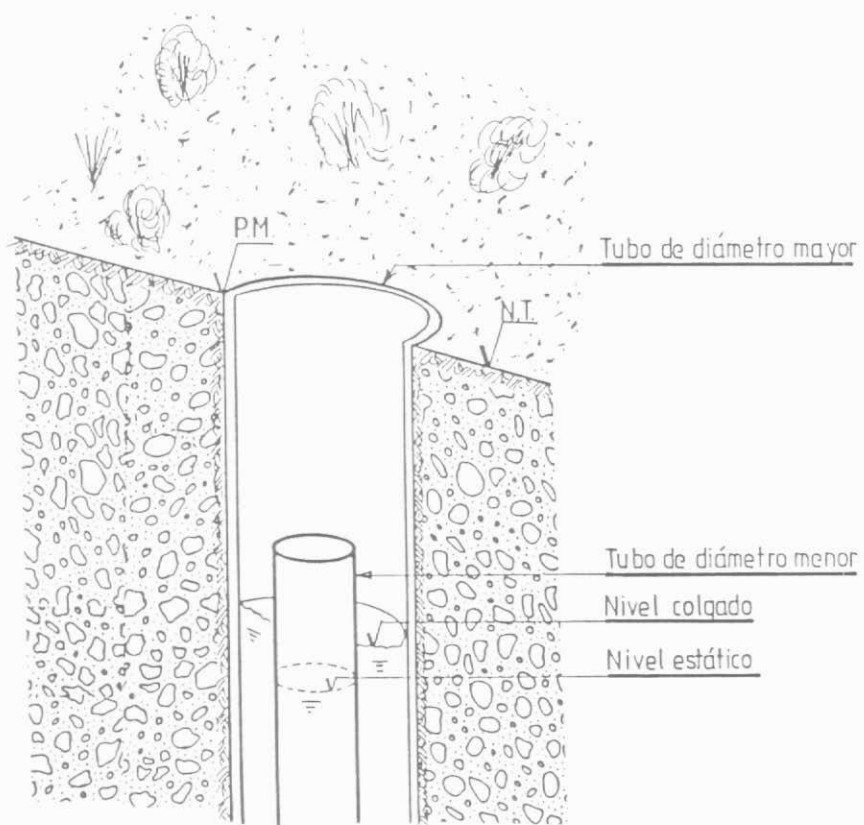
6.2 Pozos con antepozo

En este tipo de pozo tampoco hay problemas para medir el nivel estático, y solo se debe tener cuidado al descender al antepozo para efectuar la medición. (fig. 10)

6.3 Pozos con equipo de bombeo

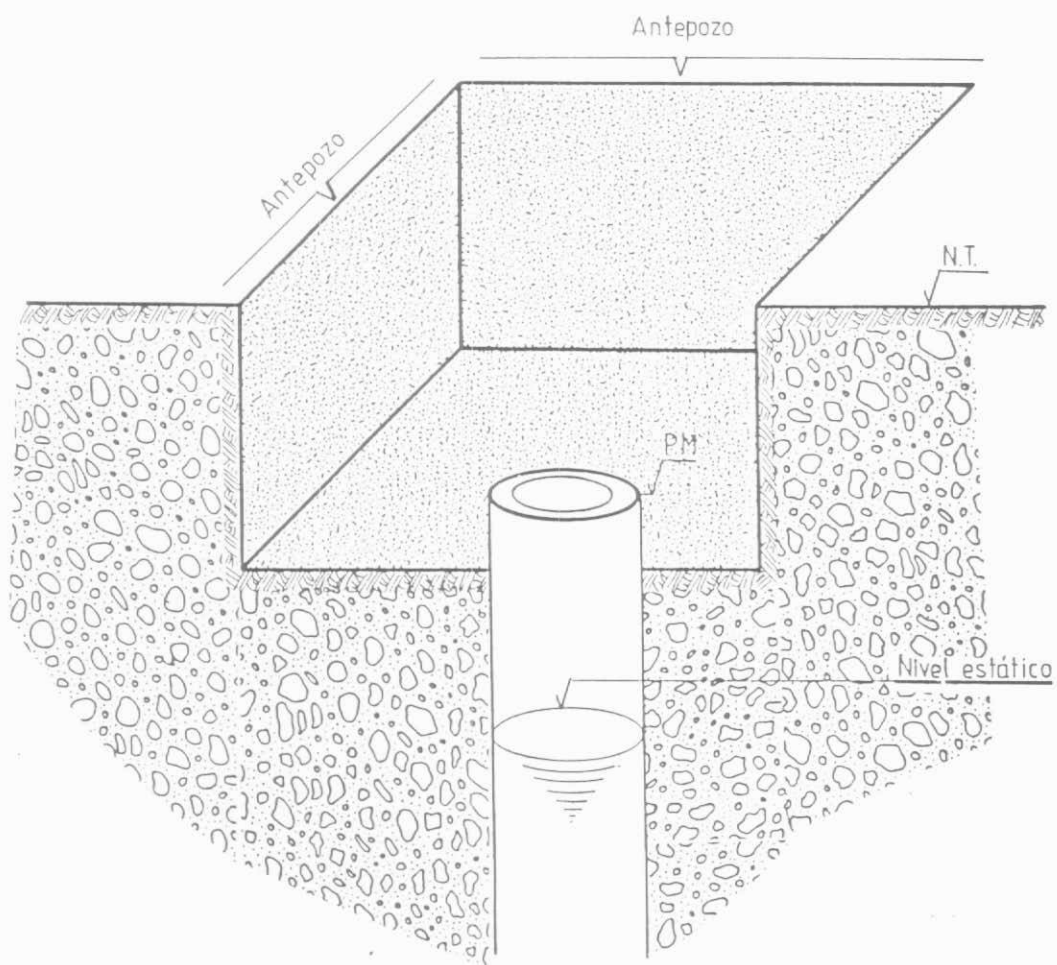
El nivel estático puede ser controlado introduciendo la sonda por el espacio comprendido entre la tubería del pozo y la impulsión de la bomba, o bien, por el interior de esta última. La elección entre una y otra alternativa, dependerá del tipo de bomba y de las características de cada instalación. (fig. 13)

En aquellos casos en que el equipo de bombeo representa un obstáculo insalvable para efectuar la medición del nivel, es posible soslayar este problema cuando el usuario instala una línea de aire por medio de una cañería de $\frac{1}{2}$ " ó $\frac{3}{4}$ " de diámetro que sirve de guía al instrumento de medida.

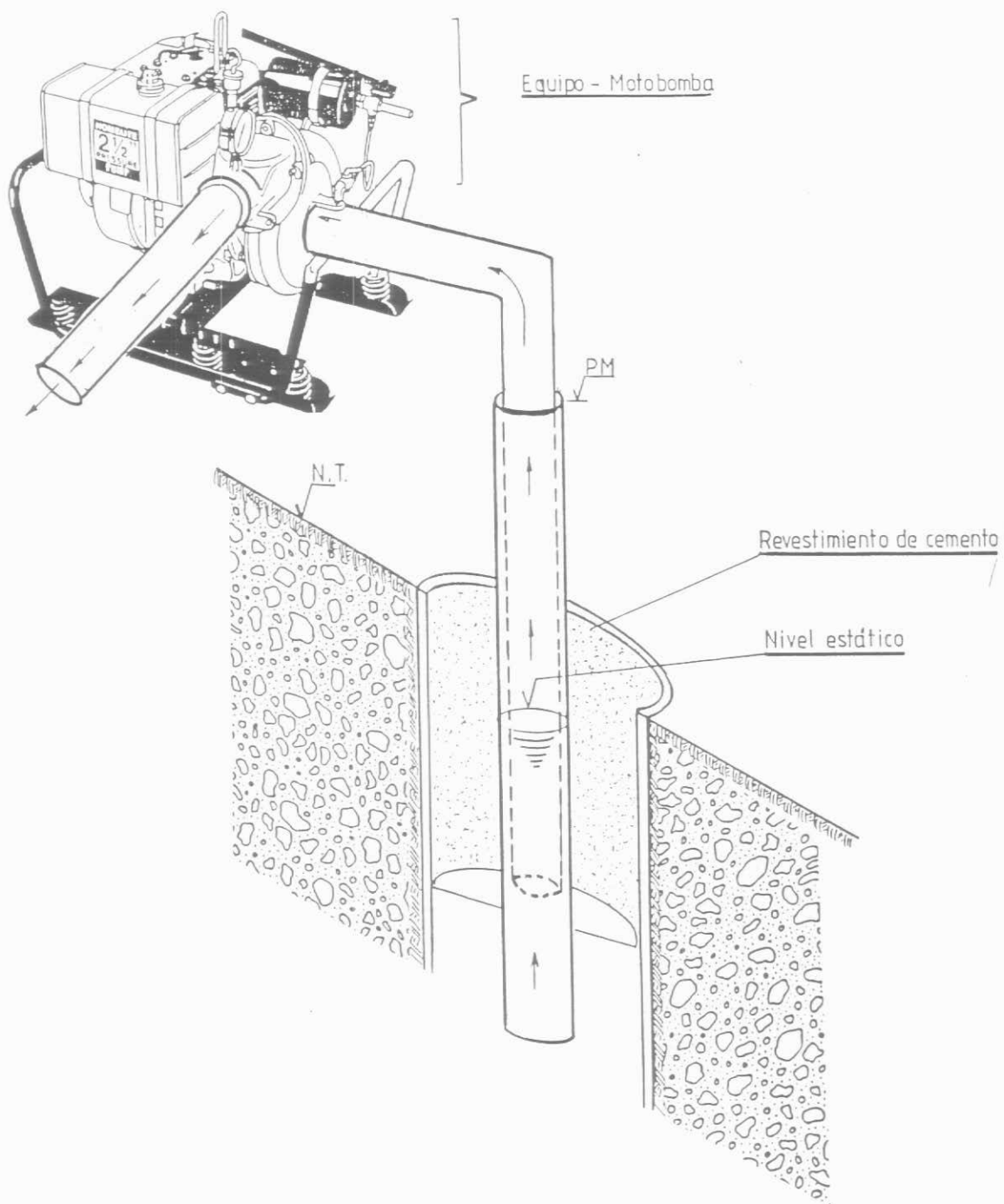


POZO SIN EQUIPO DE BOMBEO

Fig. 9



POZO CON ANTEPOZO
Fig. 10



POZO CON EQUIPO DE BOMBEO
Fig. 11

6.4 Pozos con bombas de eje vertical con motor en la superficie

En este tipo de instalaciones se puede controlar el nivel del agua, introduciendo la sonda entre la tubería del pozo y la bomba, o bien por el interior de esta última, siempre que no disponga de válvula de retención, que es lo más frecuente.

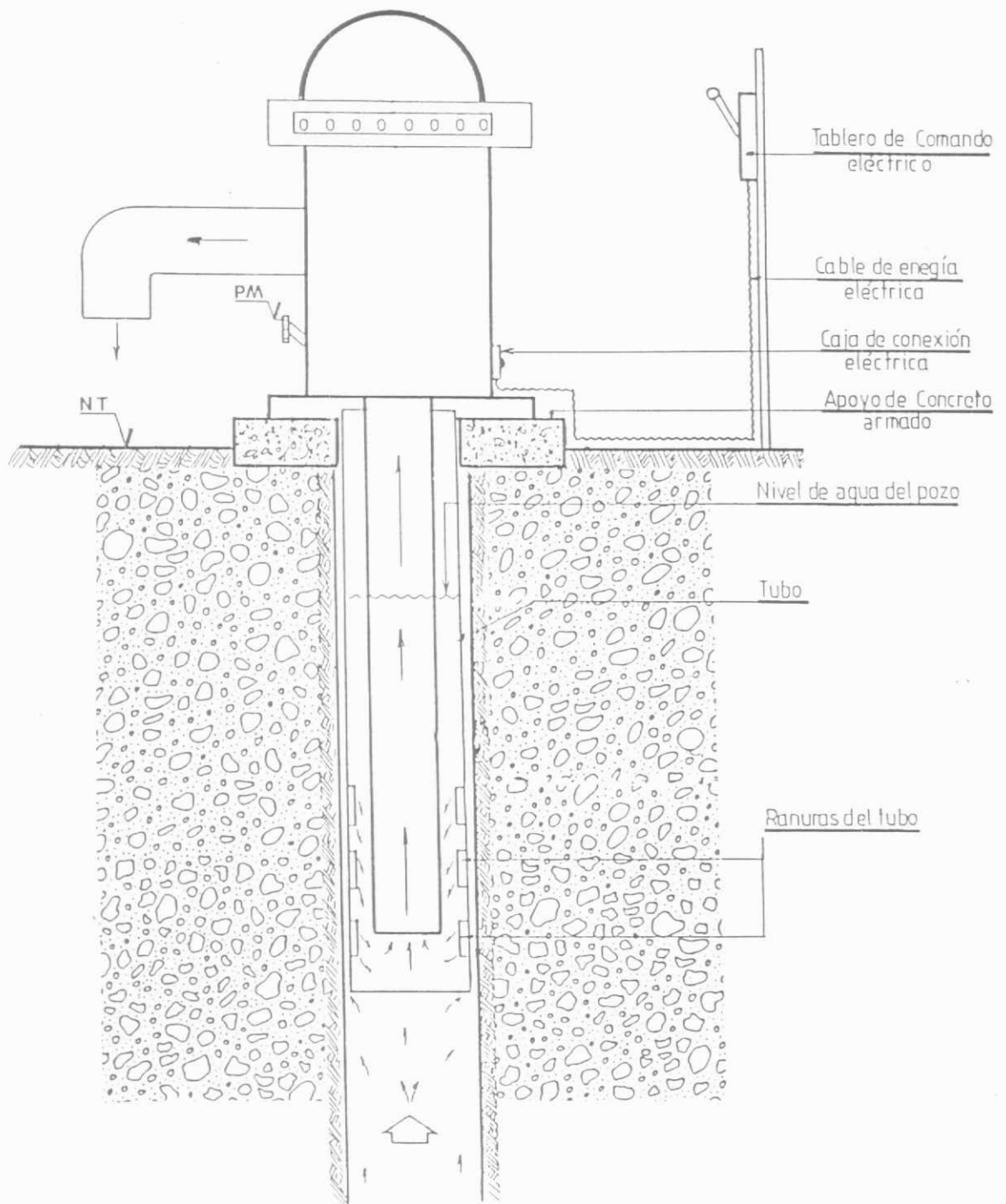
El problema más común, es encontrarse con un estrato de aceite de espesor variable entre la tubería del pozo y la bomba, el cual proviene de un exceso de lubricación. Este aceite obliga a usar la huincha metálica para efectuar la medición, pues la sonda eléctrica no funcionará, por las propiedades aislantes del aceite. (fig. 12)

6.5 Pozos con bombas de motor sumergido

Las bombas de motor sumergido cuentan con una válvula de retención en su extremo superior, lo cual impide efectuar el control del nivel del agua por el interior de su tubería de impulsión. Dicho control debe ser realizado por el orificio anular que queda entre la tubería del pozo y la de la bomba. (fig. 13)

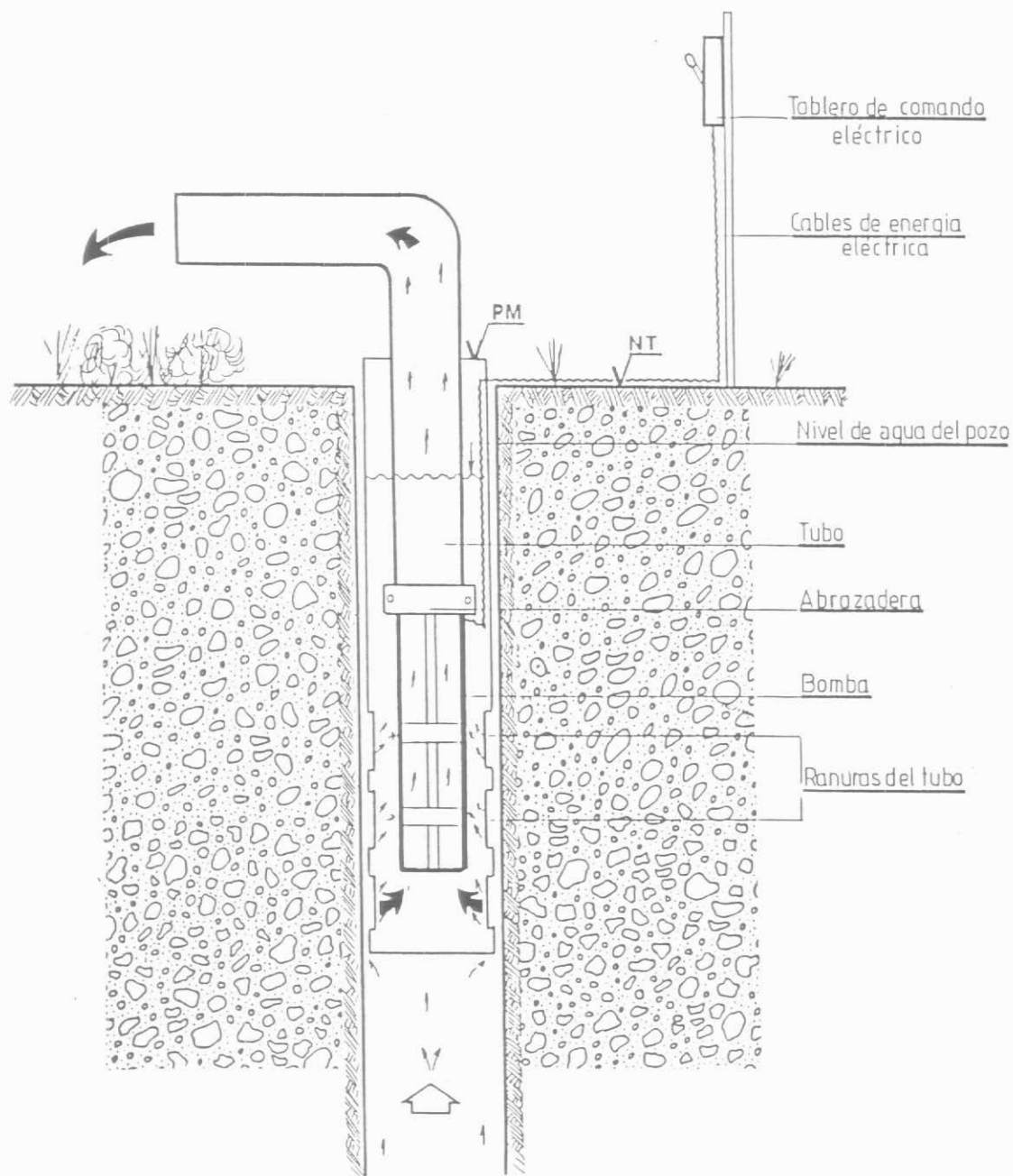
Estas son las instalaciones que más problemas de medición presentan, pues los dos cables eléctricos del motor y del guardanivel hacen imposible o dificultan a menudo el descenso de la sonda. Otra fuente de problemas lo constituyen las planchas con que, a veces, están unidos los tramos de la tubería de impulsión.

Quando hay problemas insolubles persistentes en la medición de los pozos, se procederá a cambiar de común acuerdo con la Oficina Regional y Central él o los pozos problemas por



POZO HABILITADO CON BOMBA DE EJE VERTICAL
METALICO CON MOTOR EN SUPERFICIE

fig. 12



POZO HABILITADO CON BOMBA SUMERGIDA
FIG. 13

otro cercano, con el fin de no perder la estadística de esa área. En cualquier circunstancia la sustitución de un pozo por otro en la red de medición debe ser comunicada a la Oficina Central que analizará el caso y dictaminará cual será el procedimiento a seguir, ya que la planificación y determinación de la red básica de medición de pozos corresponde a la Oficina Central del Departamento de Hidrología.

7. FORMULARIO N-1 AGUAS SUBTERRANEAS CONTROL DE NIVELES

7.1 Funciones

Registrar los datos de niveles de aguas subterráneas medidos en pozos o norias.

7.2 OBSERVACIONES

El formulario N-1 deberá ser llenado por el Hidromensor cada vez que se efectúen campañas de terreno de medición de niveles.

Para llenar el formulario podrá traspasar los datos registrados en la libreta de anotaciones, o bien, anotar las mediciones que se efectúen en el mismo momento que sean realizadas.

El Hidromensor deberá utilizar un instrumento mediante el cual se pueda conseguir una precisión de centímetros (pozómetro o equivalente).

MR. M. O. P.

[illegible]

OBSERVADOR:	REVISOR:
-------------	----------

☐ Reservado BNA

Todas las mediciones deberán efectuarse a partir del denominado punto de medida o punto de referencia.

7.3 LLENADO DEL FORMULARIO

7.3.1 Encabezamiento del formulario

Código de la cuenca: Será llenado con el código BNA, siempre y cuando la región haya pasado a integrar el BNA.

Nombre de la cuenca: Deberá escribirse el nombre de la cuenca principal donde se ubican los pozos en que se han medido niveles de aguas subterráneas. No deberá anotarse nombre de subcuencas en este espacio (ejemplos válidos: Loa, Rapel, Salar de Atacama. Ejemplos inválidos: Colorado, Turbio, Puangue). Si los pozos se ubican en zonas entre cuencas deberá anotarse el nombre asignado por IREN-CORFO a dichas cuencas intermedias (ejemplos: Elqui-Limarí, Aconcagua-Maipo).

Región: Deberá anotarse el número de la Región de la 1 a la 12. Para la Región Metropolitana, se usará "RM".

Período de mediciones: Deberá anotarse con 6 dígitos el día, mes y año en que se inician las mediciones, en la forma "DDMMAA". (eje.: 6 de abril de 1982: 060482). Fecha de término: de la misma forma deberá anotarse con 6 dígitos.

Mediciones obtenidas: Deberá anotarse la cantidad total de mediciones en pozos y norias al finalizar la corrida de mediciones. Si el número de pozos medidos excede la capacidad de una hoja de formulario, deberá llenarse tantas hojas como sean necesarias, indicándose en el lugar correspondiente, el número de la hoja y el número total de hojas.

7.3.2 Cuerpo del formulario

Se llenará una línea por medición, si se repite la medición en un mismo pozo, se anotarán ambas indicando en la columna OBSERVACIONES el motivo de la repetición.

Fecha: Se anotará día, mes, año de la medición con 6 dígitos, en la forma "DDMMAA". Si la medición se efectuó el 7 de mayo de 1985 deberá anotarse 070587.

Identificación del pozo:

Código BNA: Deberá ser llenado con el código especificado en una tabla de equivalencias respecto a la codificación asignada por CORFO. Si el observador no dispone de dicha tabla de equivalencias, este aspecto será llenado en la Oficina del BNA. Siempre que la región esté integrada al BNA.

Código CORFO: Se anotará el número de pozo de acuerdo a la nomenclatura CORFO. Esta consiste en un código que identifica al cuadrante (coordenadas geográficas cada 10 minutos) uno de los cuatro sectores en que se divide el cuadrante (A, B, C, D), eventualmente uno de los cuatro subsectores en que se divide cada sector (a, b, c, d) y el número correlativo dentro de cada sector o subsector (1, 2, 3,....). Ejemplo: 33107010-A38, 33307100-Ad25, 29507100-C2. Si el código CORFO no es conocido por el Hidromensor se anotará un guión (-) en esta columna y en la columna de observaciones la descripción del pozo que permita identificarlo posteriormente.

Punto de medición: Se anotará la altura en metros (con dos decimales) del punto de medición o de referencia respecto del nivel de terreno. Ej.: si la altura del punto de medición es 1 metro y 25 centímetros se anotará 1,25; si esta altura es de 46

cm. se anotará 0.46; si el punto de medición se ubica bajo la superficie del terreno a 40 cm. se anotará -0.40. La aproximación con que deberá anotarse esta altura será 1 cm.

Profundidad del nivel estático: Se anotará en metros (con dos decimales) la profundidad del nivel estático referida al punto de medición. Ejemplo: si se ha medido 25 metros y 18 centímetros deberá anotarse 25,18. En caso que la medición no pueda efectuarse se marca este espacio con un guión (-).

Observaciones: En esta columna deberá anotarse cualquier cosa especial que haya surgido de la medición, como por ejemplo el motivo por el cual no pudo efectuarse la medición de niveles.

7.3.3 Pie del Formulario

Observador: Se anotará el nombre y firma del observador una vez que éste ha completado el formulario.

Revisor: se anotará el nombre y firma de la persona que revisó el formulario en la oficina. (fig. 16)

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA

DETERMINACION DE CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTO

1991

INDICE GENERAL

1. OBJETIVOS
2. PARAMETROS DE LABORATORIO
3. TECNICAS DE ANALIS QUIMICO
 - 3.1. ANALISIS CUALITATIVO
 - 3.2. ANALISIS CUNTITATIVO
 - 3.2.1. GRAVIMETRIA
 - 3.2.2. VOLUMETRIA
4. ANALISIS INSTRUMENTAL
5. PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA
 - 5.1. TEMPERATURA
 - 5.2. PH
 - 5.3. CONDUCTANCIA ESPECIFICA
 - 5.4. CLORURO
 - 5.5. SULFATOS
 - 5.6. CALCIO
 - 5.7. MAGNESIO
 - 5.8. SODIO Y POTASIO
 - 5.9. ARSENICO
 - 5.10. COBRE
 - 5.11. FIERRO
 - 5.12. BORO
 - 5.13. CIANURO
 - 5.14. NITRATO
 - 5.15. NITRITOS
 - 5.16. OXIGENO DISUELTO

CONTINUACION INDICE

- 5.17. DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO
- 5.18. SILICE
- 5.19. FOSFORO TOTAL
- 5.20. NITROGENO TOTAL
- 5.21. AMONIACO
- 5.22. MOLIBDENO
- 5.23. TRANSPARENCIA
- 5.24. CLOROFILA
- 6. TOMA DE MUESTRA
- 6.1. MUESTREO MANUAL
- 6.2. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO
- 7. RED MINIMA NACIONAL DE CONTROL DE LAGOS
- 8. PARAMETROS
- 9. FRECUENCIA
- 10. PROFUNDIDAD
- 10.1 TRABAJOS EN TERRENO
- 11. INSTRUMENTAL DE TERRENO
- 11.1. INSTRUCCIONES PARA EL PH-METRO ORION MODELO 201
- 11.2. INSTRUCCIONES PARA EL CONDUCTIVIMETRO MHO-METER
- 11.3. MEDIDOR DE OXIGENO DISUELTO YSI MODELO 54 ARC
- 11.3.1. REPARACION DEL INSTRUMENTO
- 11.3.2. CALIBRACION
- 11.3.3. CALIBRACION AIRE
- 12. MEDIDA DE OXIGENO DISUELTO

CONTINUACION DEL INDICE

- 12.1. PREPARACION DE LA CELDA PARA OXIGENO DISUELTO
- 13. MUESTREO Y ANALISIS DE SEDIMENTOS
 - 13.1. MUESTREOS SUPERFICIALES O ABREVIADOS
 - 13.1.1. MUESTREO CON CANASTILLO
 - 13.1.2. MUESTREO DE ORILLA CON VADEO
 - 13.1.3. MUESTREO DE ORILLA SIN VADEO
- 14. MUESTREO CON INTEGRADORES
- 15. TEMPERATURA DEL AGUA
 - 15.1. TEMPERATURA DEL AGUA CON VADEO
 - 15.2. TEMPERATURA DEL AGUA SIN VADEO
- 16. RESPONSABILIDADES DEL HIDROMENSOR
- 17. OBLIGACIONES DEL OBSERVADOR
- 18. INSTRUCCIONES PARA CENTRO DE FILTRADOS
 - 18.1. OPERACIONES PRELIMINARES
 - 18.2. PREPARACION DEL FILTRO
 - 18.3. PROCEDIMIENTO DE FILTRACION
 - 18.4. SECADO DE LAS MUESTRAS
 - 18.5. DETERMINACION DEL VOLUMEN DE LA MUESTRA
 - 18.6. MUESTRA CON MUCHO MATERIAL EN SUSPENSION
 - 18.7. INSTRUCCIONES COMPLEMENTARIAS

CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTO

En la actualidad la D. G. A. cuenta con:

- 1º Red de Calidad de agua - superficial y Subterránea
- 2º Red de Sedimentos
- 3º Red Mínima de Control de Lagos.

1. Objetivos

Generar información general acerca de la calidad del agua, tanto en su estado natural como por efecto del impacto de la actividad humana.

El término general implica, que es razonable esperar que la información generada no sustituirá el estudio o monitoreo especial que el organismo usuario del recurso debe programar para algunos usos determinados, por ejemplo fuente de agua potable.

2. Parámetros

En principio se debe aceptar que es imposible analizar rutinariamente, todos los componentes del agua, de ahí, que se realizó una selección de ellos.

Algunos de los parámetros considerados en el programa de medición son no estables y no preservables, por lo que deben analizarse en el terreno mismo. Ellos son: pH, temperatura, conductividad específica, oxígeno disuelto, transparencia.

2.1 Parámetros de laboratorio: macroelementos, (carbonato, bicarbonato, cloruro, sulfato, calcio, magnesio, potasio, sodio), arsénico, boro, cobre, fierro, nitrato, nitrito, amoníaco, fosfato, cianuro, fósforo y nitrógeno total, clorofila, sílice, molibdeno y demanda química de oxígeno (D. Q. O.).

3. Técnicas de Análisis Químicos.

La química analítica comprende el análisis cualitativo y cuantitativo.

3.1 Análisis Cualitativo

Su propósito es el reconocimiento y la identificación de los componentes de un compuesto o de una mezcla de compuestos o elementos.

3.2 Análisis Cuantitativo

Su propósito es determinar la cantidad de cada componente.

Para efectuar un análisis cuantitativo podrá emplearse alguna de las siguientes técnicas:

3.2.1 Gravimetría: El análisis gravimétrico, o análisis cuantitativo por pesada, consiste en separar y pesar, en el estado de mayor pureza, después de un tratamiento adecuado, un elemento o compuesto de composición conocida.

3.2.2 Volumetría: La volumetría o análisis cuantitativo por medición de volúmenes, consiste esencialmente en determinar el volumen de una solución de concentración conocida, que se requiere para la reacción cuantitativa.

con un volumen dado de solución de la sustancia en análisis.

La solución de concentración conocida se llama solución valorada o solución estandar.

La solución valorada se agrega mediante una bureta.

La operación de agregar la solución valorada, hasta que la reacción sea cuantitativa se denomina, titulación, y

se dice que se titula la sustancia que así se determina.

El punto final de la titulación se conoce visualmente, mediante un reactivo auxiliar llamado indicador.

4. **Análisis Instrumental:** El laboratorio analítico moderno depende en gran parte de la instrumentación.

Ventajas del análisis intrumental.

- a) Proporciona capacidad para analizar parámetros que no podrían ser determinados de otro modo. Ej. pesticidas y trazas de metales.
- b) Velocidad. Las técnicas instrumentales permiten realizar más determinaciones por hora-hombre.
- c) Disminución de las posibilidades de error: los instrumentos, si están debidamente calibrados y si se les mantiene bien, son menos susceptibles a errores debidos a mala manipulación.
- d) Manejo de datos. A menudo se eliminan los cálculos, ya que los instrumentos proporcionan en forma directa la lectura de las concentraciones.
- e) Automatización. Los instrumentos altamente evolucionados permiten que se pueda realizar en forma automática el muestreo, el análisis y la lectura final.

Desventajas

- a) Costo
- b) Complejidad

Instrumentos más comunmente usados en el análisis físico-químico de aguas, y existentes en el laboratorio:

Balanza Analítica

pH metro

Conductivímetro

Turbidímetro

Oxímetro

Disco Secchi

Espectrofotómetro-Visual, Ultravioleta, Absorción Atómica.

Balanza Analítica. El más importante equipo de cualquier laboratorio analítico es la balanza. Si la balanza no es exacta, todos los datos relacionados con estándares preparados por pesada de reactivos tendrán el mismo grado de error.

PH-Metro. Un pH metro básico consiste en una fuente de voltaje, un amplificador, un equipo de lectura, ya sea escala o digital.

En trabajos de rutina el pH-metro que se emplea usa un electrodo de vidrio como indicador, y electrodo de calomelano como referencia.

Conductivímetros. El elemento principal de un conductivímetro es la celda, que consta de dos placas delgadas de metal

platinizado, rígidamente soportadas, con un espacio paralelo muy preciso. Estas placas deben examinarse frecuentemente para asegurarse de que:

- a) La capa platinizante esté intacta
- b) No estén cubiertas con materia en suspensión
- c) No estén dobladas.

Turbidímetro. Los instrumentos de medición de turbiedad tradicionalmente han empleado dos principios de diseño.

- a) Transmisión de la luz
- b) Reflexión de la luz.

El turbidímetro Hach Mod 2100, mide la reflexión de la luz, y ha sido adoptado como instrumento estandar para la medición de turbiedad.

Espectrofotómetro. Un espectrofotómetro es un instrumento para medir la cantidad de luz o energía radiante transmitida a través de una solución, como función de la longitud de onda.

Las partes esenciales de un espectrofotómetro son:

- a) Una fuente de energía radiante
- b) El monocromador, un aparato para aislar bandas de luz estrechas.
- c) Celdas para colocar las soluciones.
- d) El fotodetector, un aparato para medir la energía radiante que pasa a través de la muestra.

Espectrofotómetro de Absorción Atómica

Al igual que todo espectrofotómetro los requerimientos básicos son: una fuente de luz; una celda de muestreo y un medio para medir luz específica.

En absorción atómica se requiere que la fuente de luz emita las líneas atómicas características del elemento a ser analizado.

La celda de muestreo, es un quemador que se encuentra alineado en el paso óptico del espectrofotómetro.

La selección de una fuente específica y de una longitud de onda particular de aquella fuente, es lo que permite que se pueda efectuar la determinación del elemento seleccionado en presencia de otros.

Para la medición de la luz específica se usa un detector, que produce una corriente eléctrica que depende de la intensidad de la luz incidente. Esta corriente eléctrica produce una señal que la electrónica del instrumento procesa y entrega una lectura en unidades de concentración.

Medidor de Oxígeno disuelto. Oxímetro.

Un electrodo de membrana, sensible al oxígeno, del tipo polarográfico está compuesto por dos electrodos de metal, en contacto con un electrolito, separado de la solución test por una membrana selectiva.

A este electrodo polarográfico se le aplica una fuente de voltaje externo para polarizar el electrodo indicador.

Membranas de polietileno y fluorocarbono son comunmente utilizadas, porque ellas son permeables al oxígeno molecular.

El oxígeno pasa la membrana a una tasa proporcional a la diferencia de presión. Ya que el oxígeno es rápidamente consumido en el cátodo, se puede asumir que la presión de oxígeno dentro de la membrana es cero. La fuerza causante que el oxígeno difunda a través de la membrana es proporcional a la presión absoluta del oxígeno fuera de ella. Si la presión de oxígeno aumenta, más oxígeno difunde y más corriente fluye por el sensor. Esta corriente puede fácilmente ser convertida a unidades de concentración.

Disco Secchi

El disco Secchi es un disco plano de color blanco, de 20cm. de $\varnothing$, pudiendo también ser de otros diámetros. (10, 30, 40 y 75 cm.).

Este disco está sostenido por una cuerda graduada en metros, mediante la cual se introduce en el agua, hasta su desaparición. Cuidando que la cuerda mantenga verticalidad, se lee en ella, la profundidad a la cual el disco desaparece de la vista del operador. Se está midiendo así la transparencia del agua.

5. Parámetros de Calidad del Agua.

Las características tanto químicas como físicas que influyen el uso del agua incluyen:

5.1 Temperatura: Los cambios de temperatura en un cuerpo de

agua pueden ser resultados de un fenómeno climático natural o de la incorporación de residuos industriales.

Aumentos de la temperatura producen disminución en la capacidad de oxigenación, aumento de la demanda de oxígeno, putrefacción o depósitos de lodos.

5.2 PH.-

El pH indica el balance entre ácidos y bases en el agua y es una medida de la concentración de iones hidrógeno. El pH es medido en una escala de 0 a 14. El valor 7 indica condición neutral; valores menores que 7 indica condición, ácida y valores mayores que 7 indica condición alcalina.

5.3 Conductancia Específica

La conductancia específica es una expresión numérica de la capacidad del agua de conducir una corriente eléctrica. Medida en micromhos por centímetro (umhos/cm.) la conductividad depende de la concentración de iones en solución.

La conductividad provee de una buena indicación de los cambios en la calidad del agua, especialmente en su concentración mineral.

5.4 Clóruro

Es el único ión estable en aguas naturales. No tiene rol importante en la vida celular. Los efectos fisiológicos no existen, sino a concentraciones que se acercan al agua de mar.

5.5 Sulfatos

Los sulfatos se encuentran naturalmente en el agua como resultado de lavados del terreno formados por yeso. Asimismo pueden provenir de numerosas industrias: minería, curtiembre, textiles, etc.

Los criterios de calidad recomiendan para el agua potable una concentración máxima de 250 mg/L.

5.6 Calcio

A las aguas llega, por simple disolución de los yesos o silicatos, o bien, por ataque de las calizas por acción del anhídrido carbónico.

Cantidades apreciables de sales de calcio, forman incrustaciones en calentadores, calderas y cañerías.

5.7 Magnesio

Se encuentra generalmente en aguas en cantidades menores que el calcio, pero su importancia biológica es grande, ya que es indispensable en ciertos sistemas enzimáticos.

A altas concentraciones, las sales de magnesio tienen efecto laxante.

5.8 Sodio y Potasio

Ninguno de los dos se encuentran libre en la naturaleza. El sodio está siempre en mayor concentración que el potasio.

Cuando el contenido de sodio y potasio del agua, tiene un incremento inesperado, ello puede ser indicio de una contaminación. En el caso del sodio, puede sospecharse de aguas servidas.

Un exceso de sodio afecta a personas con fallas cardíacas y de hipertensión arterial.

5.9 Arsénico

Puede encontrarse en el agua, como resultado de la disolución de minerales, descargas industriales o la aplicación de insecticidas.

Los compuestos de arsénico son tóxicos y producen una intoxicación crónica debido a su efecto acumulativo, ya que su eliminación del organismo es muy lenta.

5.10 Cobre

El cobre se encuentra en forma natural en aguas superficiales sólo en pequeñísimas cantidades, luego su presencia, en general, es el resultado de una contaminación.

El factor limitante en agua potable es el sabor, no así en agua de riego, cuyo exceso es dañino a la planta.

5.11 Fierro

Son principalmente las aguas de bajo pH las que disuelven el fierro de las arenas ferruginosas.

En aguas aireadas, la concentración de fierro es raramente alta.

5.12 Boro

El boro se encuentra como borato de sodio o como borato de calcio en depósitos minerales y en aguas naturales.

El boro en agua potable no se considera generalmente un peligro para la salud.

Su importancia está en el agua que se usará en riego.

5.13 Cianuro

Tiene su origen en residuos industriales. El ácido cianhídrico está no disociado a valores de pH 8 o inferior. Este ácido es más tóxico, que el ión cianuro libre.

5.14 Nitrato

A pesar de sus numerosas fuentes, los nitratos son rara vez abundantes en aguas superficiales naturales por que sirven como fertilizante esencial para todo tipo de plantas.

En aguas subterráneas, en ausencia de fotosíntesis, a menudo se encuentran concentraciones altas de nitrato.

Los nitratos se consideran entre los elementos tóxicos de aguas mineralizadas, sobretudo si se trata de aguas de abastecimiento público. Los nitratos por reducción bacteriana o química pasan a nitritos. Los nitritos producen meta-hemoglobinemia, una condición en la cual parte de la hemoglobina de la sangre se oxida, reduciéndose así su capacidad transportadora de oxígeno. Cuando esta oxidación es intensa puede provocar la muerte. Este problema se produce en niños de corta edad. (niños azules).

Nitratos en exceso producen irritación de las paredes mucosas del tracto intestinal y vejiga.

5.15 Nitritos

Su origen puede ser la oxidación del amoníaco o la reducción de los nitratos. Su presencia en el agua indica contaminación orgánica reciente. Es de alta toxicidad, como se explicó anteriormente.

5.16 Oxígeno Disuelto

El O.D. es un indicador de frescura del agua. Las aguas servidas carecen de O.D. debido a su alto contenido de materia orgánica. la cantidad de O.D. en el agua depende de la temperatura, salinidad, turbulencia, presión atmosférica y altura.

5.17 Demanda Química de Oxígeno

Es una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidar químicamente la materia orgánica, lo que nos da una estimación del contenido de material orgánico en el agua.

5.18 Silice

La presencia de silice en las aguas no afecta a los humanos, a los peces ni al ganado. En aguas industriales puede producir problemas en calderas debido a la formación de depósitos silíceos.

La sílice es importante en los lagos ya que ciertas algas diatomeas la utilizan para su crecimiento.

5.19 Fósforo Total

El fósforo no es un tóxico para el hombre, animales o peces y es un elemento esencial para el crecimiento de plantas, sólo la forma, extremadamente rara de fósforo elemental es tóxico para el hombre.

Concentraciones altas de fósforo, deben evitarse ya que produce eutroficación de las aguas. Esto adquiere una especial importancia en lagos. En estas aguas la concentración de fósforo expresada como fosfato (PO_4) no debiera ser superior a 0.025 mg/L. La concentración de fosfato se utiliza como, Índice de trofía en estudios de lagos.

5.20 Nitrógeno Total

El nitrógeno total Kjeldahl mide nitrógeno orgánico y amoníaco. El nitrógeno total Kjeldahl contribuye con la sobre abundancia de nutrientes y así con la eutroficación.

El nitrógeno orgánico por sí mismo, no es de interés para la salud humana.

5.21 Amoníaco

Generalmente se encuentra en muy bajas concentraciones en las aguas (0,1 mg/L) mayores concentraciones indica contaminación antropogénica.

Los peces no pueden tolerar grandes cantidades de amoníaco, ya que les reduce la capacidad de la sangre de llevar oxígeno. Para proteger la vida acuática el nivel de amoníaco no debiera ser superior a 0,02 mg/L.

5.22 Molibdeno

Es un metal traza que no está ampliamente distribuido en la naturaleza.

El hombre es muy tolerante al molibdeno, ya que es de baja toxicidad y no se acumula en el cuerpo.

El molibdeno no presenta problemas a la planta, pero ésta lo acumula en su follaje, por lo que vacunos, ovejas y chanchos pueden exhibir cierta sensibilidad a este metal.

5.23 Transparencia

Es un parámetro importante de medir en el estudio de lagos. Tiene una relación estrecha con parámetros biológicos importantes como el contenido de biomasa, clorofila, fitoplancton, zooplancton y turbiedad. La lectura de la transparencia es de tal importancia en lagos que se usa como un índice de trofía.

5.24 Clorofila

Es uno de los pigmentos característicos de las algas. hay 3 tipos de clorofila: la clorofila A, B y C. La clorofila A constituye aproximadamente el 1 al 2% del peso seco del

material orgánico, en todas las algas planctónicas, y es el indicador preferido para estimar la biomasa algal.

La clorofila se utiliza, al igual que la transparencia, como Índice trófico en Limnología.

6. Toma de Muestras

El recolector de muestras no necesita ser un químico, pero se requiere que ejecute mediciones de campo y medidas in situ y por lo tanto requiere alguna destreza y entrenamiento técnico. Generalmente esta persona trabaja sola y deberá tener iniciativa e ingeniosidad en el curso de su trabajo; por lo tanto, necesita tener una comprensión profunda de los principios y propósitos del procedimiento de muestreo.

El recolector de muestras deberá identificar bien todas las muestras, completar todas las mediciones de campo, registrarlas antes de abandonar la estación.

Sería desastroso cualquier intento de depender de la memoria desde una estación hasta la próxima o hasta el fin de una jornada de muestreo.

La información que se registra en un formulario es:

Nombre de la estación

Fecha

Hora

Temperatura del agua

Resultados de las determinaciones de campo

Cualquier observación de importancia

Preservativo añadido, si lo hubo

Identidad del recolector

Métodos de Muestreo

Muestreo Manual

Muestreo Automático

6.1 Muestreo Manual

Las muestras manuales generalmente se toman en un breve período de tiempo y son llamadas muestras puntuales o individuales. Esta clase de muestreo es flexible y hay varios equipos para muestreo manual que pueden adaptarse a las condiciones y necesidades. El más simple es el usado por la D.G.A. que consiste en un canastillo de fierro, asegurado por una cuerda y en cuyo interior se introduce la botella.

Otra alternativa es sumergir el frasco o botella directamente en el agua, ya sea desde la orilla o vadeando si la profundidad de agua a muestrear es baja.

Para muestreos en profundidad, como es el caso de los lagos, se emplean cilindricos verticales u horizontales, con tapas a cada extremo, las cuales son cerradas por un dispositivo (mensajero) cuando se ha alcanzado la profundidad requerida. Este muestreador se denomina muestreador: Van Dorn.

Para muestrear pozos se utiliza el muestreador llamado de Kemmerer, cuyo funcionamiento es semejante al Van Dorn. La diferencia entre ambos muestreadores está en el diametro, siendo el Kemmerer, el de menor diámetro.

6.2 Procedimiento de Muestreo

El uso de una apropiada técnica de muestreo y buen juicio

para obtener una muestra representativa es de la mayor importancia.

Cuando se muestree hay que cuidar que el muestreador no toque el fondo del río o lago, para evitar contaminación con el sedimento decantado.

Se inserta una botella limpia dentro del canastillo, se asegura bien con una lazada, para evitar que ésta se salga y se tira al agua, permitiendo que se hunda y se llene.

Es importante que la botella sea lavada 2 o 3 veces con el agua a muestrear, antes de obtener la muestra definitiva. Este muestreo se realiza desde un puente o carro de aforo.

El muestreo en los lagos se realiza desde un bote y con el muestreador Van Dorn, sacando muestras a diferentes profundidades.

Hay que asegurarse que la cuerda de suspensión del muestreador permanezca en posición vertical para hacer una estimación exacta de la profundidad de la muestra. Es útil predeterminar la profundidad del agua, para evitar tocar el fondo del lago.

Las muestras de agua subterránea se toman con el muestreador Kemmerer, cuando el pozo está abierto y sin bomba. cuando el pozo está equipado con bomba, el agua debe bombearse durante un tiempo, para asegurarse de tomar agua nueva, y no agua retenida en las cañerías.

El muestreo es la etapa preliminar a todo análisis de agua y debe hacerse con el mayor cuidado. un muestreo mal realizado invalida el más preciso y exacto trabajo analítico. La representatividad de la muestra, respecto al cuerpo de agua en

estudio, es de la mayor importancia.

Las estaciones de muestreo están determinadas en las redes respectivas, específicas para cada región.

7. Red Mínima Nacional de Control de Lagos

Un lago puede definirse como un cuerpo de agua dulce parcialmente encerrado y circundado de tierra y puede ser de origen natural o artificial.

El comportamiento del agua del lago está sujeto a una amplia variedad de influencias que operan en tres dimensiones a diferencia del agua del río que a menudo es virtualmente unidimensional.

Un lago puede ser caracterizado por parámetros morfométricos, hidrológicos, químicos, biológicos y de sedimentación dependiendo de su edad, historia y clima. Cada lago desarrollará su propia respuesta a estos factores combinados que causan las mayores variaciones de la calidad del agua tanto en espacio como en tiempo.

La composición del agua en el lago está influenciada por su contenido, esto es por el balance entre entradas y salidas, además del intercambio entre el sedimento, el agua y la producción de materia orgánica por actividad biológica.

Otro fenómeno característicos de los lagos que implica procedimientos modificados de muestreo es la estratificación térmica.

Durante la primavera y el verano las capas superficiales

del agua se calientan y disminuye su densidad, por lo tanto flotan sobre una capa más fría y más densa y hay una resistencia a la mezcla vertical. La capa superficial caliente se la conoce como el epilimnión y el agua más fría que está atrapada por debajo, es el hipolimnión. Entre las dos capas hay una zona poca profunda donde la temperatura cambia desde la del epilimnión hasta la del hipolimnión. Esta zona se llama metalimnión o termoclina.

A medida que el tiempo se hace más frío, baja la temperatura de las capas superficiales y la termoclina se sumerge más. Cuando las capas superficiales alcanzan una temperatura en la cual son más densas que el agua del hipolimnión hay un "vuelco" del agua del lago, que ocurre más bien rápidamente y resulta en una mezcla vertical del agua del lago.

Cuando existe esta estratificación térmica las muestras deben tomarse de acuerdo a la posición del metalimnion o termoclina.

Estas capas térmicas en el lago se determinan mediante un perfil de temperatura.

Red de Control de Lagos

La red mínima de lagos opera con 10 lagos:

Región	Nombre lago	Región	Nombre Lago
IV	La Paloma	VIII	Grande de San Pedro
RM	Aculeo	IX	Villarica
RM	Yeso	X	Rauco
VI	Rapel	X	Rifihue
VII	Lanahue	X	Llanquihue

Para cada lago se ha definido, el número y ubicación de estaciones, frecuencia de controles y parámetros.

Los parámetros que contempla la red son comunes a los lagos, considerándose parámetros físicos, químicos, biológicos y variables hidrológicas asociadas.

8. Parámetros

Temperatura, transparencia, conductividad, pH, oxígeno disuelto, nitrógeno total, fósforo total, clorofila, D.Q.O., macroelementos, fosfatos, nitratos, sílice, nitritos y amoníaco.

9. Frecuencia

Todos los lagos tienen un monitoreo estacional con excepción de la laguna de Aculeo que lo tiene.

10. Profundidad

Superficial, media y profunda

10.1. Trabajos en terreno

- a) Parámetros :
- | | |
|------------------|---------------------------|
| Niveles | pH |
| Transparencia | Nitrito |
| Temperatura | Amoníaco |
| Conductividad | Temperatura y humedad del |
| Oxígeno disuelto | aire . |
- b) Muestreos : Obtención de muestras y despacho al laboratorio correspondiente (Univ. Austral, U. de Chile) Preservación de muestras (acidulación) Filtrado de muestras.

- c) Equipamiento: Bote y accesorios
Muestreador en profundidad Van Dorn
Disco Secchi
Bomba de vacío portátil
Accesorios filtrado
Instrumentos (espectro-fotometro, pH metro
conductivimetro, medidor de O.D., medidor de
humedad),
Nevera.

11. INSTRUMENTAL DE TERRENO

11.1 INSTRUCCIONES PARA EL PH-METRO ORION MODELO 201

- Colocar el instrumento sobre una superficie horizontal.
- Conectar cable del electrodo en el orificio central inferior del instrumento, girarlo para sujetarlo.
- Medir con termómetro la temperatura del buffer con el que se calibrará el equipo.
- Sacar la funda protectora del extremo del electrodo.
- Calibrar el electrodo contra soluciones estandar de buffer de pH conocido, (buffer 7 y buffer 4).
Debido a que las soluciones buffer se deterioran como resultado del crecimiento de moho o contaminación, se debe preparar nuevas soluciones al inicio de una corrida de muestreo.
- Lavar el electrodo con agua destilada y secar con una paño suave o papel suave o absorbente.

- Estandarizar el instrumento sumergiendo el electrodo en una solución de buffer 7.
- Pulsar el botón naranja y mover la perilla de calibración hasta que en el tablero se pueda leer pH 7.00.
- Una vez calibrado el instrumento a pH 7, sacar el electrodo del buffer, enjuagar completamente y secar.
- Sumergir el electrodo en el segundo buffer pH 4. La lectura debe ser o estar muy cerca del pH 4.
- Cuando la respuesta de los dos buffer, de pH distinto, muestra diferencias mayores de 0.5 unidades de pH, significa que algo está fallando y se debe buscar las causas del mal funcionamiento o consultar al laboratorio central.
- Con el electrodo ya preparado, sumergirlo en la muestra a medir y leer el pH, cuando se estabilice la lectura.
- El pH-meter será calibrado con buffer pH 7.0 en cada estación.

Preparación de los buffer

Disolver una caluga de buffer en 50 ml de agua destilada.

11.2 INSTRUCCIONES PARA EL CONDUCTIVIMETRO MHO-METER

- Colocar el dial superior en posición "TEST" y presionar el botón negro "ON".

- Suavemente mover la manilla inferior, hasta que la aguja roja en la ventanilla central se ubique aproximadamente al medio. La manilla inferior deberá leer 10. Si la aguja roja deflecta indica que la batería está agotada.

- Preparación del frasco-celda

Lavar el frasco-celda con solución de detergente, sacando el tapón plástico que tiene al fondo y frotando con la escobilla que está adosada a la tapa de la caja del instrumento. Sólo se puede introducir en la celda esta escobilla jabonosa. Nunca limpie con los dedos.

- Enjuagar con agua corriente o potable y por último con agua destilada, reponer el tapón plástico.

- Enjuagar la celda con agua de la muestra. Llenar con agua a medir hasta la mitad del cono.

- Conectar la celda al instrumento.

- Con el termómetro, tomar la temperatura de la muestra en la celda. Anotarla y sacar el termómetro.

NOTA: esta lectura de temperatura sólo sirve para el cálculo de la conductividad eléctrica.

- Colocar el dial en posición "X1" y la manilla inferior en posición 100. Presionar el botón "ON", mover la manilla en sentido contrario a los punteros del reloj hasta que la línea roja de la ventanilla quede centrada. Si no se consigue, pasar el dial a posición "X100", repitiendo la operación anterior. Podría ser necesario hacer lo mismo con el dial en posición "X1000".

- La lectura del instrumento se realiza cuando se centra la línea roja en la ventanilla. La conductividad específica es el producto entre el factor del dial y la lectura en el limbo de la manilla inferior.

Si la muestra tiene otra temperatura distinta a 25° C el valor de la C.E. debe corregirse, multiplicando CE x f. (f, se obtiene de la tabla adjunta.)

Ej.: Dial= x100

Lect= 30

T° = 20

f = 1,112

CE umhos/cm. a 25°C = 3000 x f = 3336

FACTORES DE CORRECCION PARA CONDUCTIVIDAD

TEMPERATURA °C	FACTOR f	TEMPERATURA °C	FACTOR
3,0	1,709	23,6	1,029
4,0	1,660	23,8	1,025
5,0	1,613	24,0	1,020
6,0	1,569	24,2	1,016
7,0	1,528	24,4	1,012
8,0	1,488	24,6	1,008
9,0	1,448	24,8	1,004
10,0	1,411	25,0	1,000
11,0	1,375	25,2	0,996
12,0	1,341	25,4	0,992
13,0	1,309	25,6	0,988
14,0	1,277	25,8	0,983
15,0	1,247	26,0	0,979
16,0	1,218	26,2	0,975
17,0	1,189	26,4	0,971
18,0	1,163	26,6	0,967
18,2	1,157	26,8	0,964
18,4	1,152	27,0	0,960
18,6	1,147	27,2	0,956
18,8	1,142	27,4	0,953
19,0	1,136	27,6	0,950
19,2	1,131	27,8	0,947
19,4	1,127	28,0	0,943
19,6	1,122	28,2	0,940
19,8	1,117	28,4	0,936
20,0	1,112	28,6	0,932
20,2	1,107	28,8	0,929
20,4	1,102	29,0	0,925
20,6	1,097	29,2	0,921
20,8	1,092	29,4	0,918
21,0	1,087	29,6	0,914
21,2	1,082	29,8	0,911
21,4	1,078	30,0	0,907
21,6	1,073	30,2	0,904
21,8	1,068	30,4	0,901
22,0	1,064	30,6	0,897
22,2	1,060	30,8	0,894
22,4	1,055	31,0	0,890
22,6	1,051	31,2	0,887
22,8	1,047	31,4	0,884
23,0	1,043	31,6	0,880
23,2	1,038	31,8	0,877
23,4	1,034	32,0	0,873

11.3 MEDIDOR DE OXIGENO DISUELTO YSI MODELO 54 ARC

11.3.1 REPARACION DEL INSTRUMENTO

Es importante que el instrumento sea colocado en la posición de operación, que es, inclinado sobre su espalda, antes de ser calibrado. Un reajuste puede ser necesario cuando el instrumento es cambiado de su posición de operación. Después de preparar la celda proceda como sigue:

- Con el switch en la posición OFF, ajuste el punto cero, con el tornillo ubicado en el centro del panel del instrumento.
- Con el switch en Línea Roja y con el botón Línea roja lleve la aguja hasta que ésta coincida con la Línea Roja marcada en el instrumento. (posición 31°C).
- Con el switch en Cero y con el control de Cero, ajuste la aguja en cero.
- Conecte la celda ya preparada al instrumento.
- Antes de calibrar espere unos 15 minutos para un óptimo polarizado de la celda.
- Repolarice, siempre que el instrumento haya estado en OFF o la celda haya sido desconectada.

11.3.2 CALIBRACION

El operador tiene tres métodos para elegir: Titulación de Winkler, Agua saturada y Aire. La experiencia ha demostrado que

la calibración aire es enteramente confiable, y más simple que los otros dos métodos.

11.3.3 CALIBRACION AIRE

- Coloque la celda en la botellita de plástico previamente humedecida. Saque la tapa de la botella. De esta forma se obtiene un ambiente de aire húmedo.

La celda puede también ser envuelta sueltamente en un paño mojado, teniendo cuidado que el paño no toque la membrana. Espere aproximadamente 10 minutos para que la temperatura se estabilice. Esto se está haciendo simultáneamente con la estabilización de la celda.

- El switch principal gírelo a posición temperatura y léala. Vea la Tabla I. Solubilidad del oxígeno en agua fresca, y determine el valor de la calibración.
- Determine la altura o la presión atmosférica para ver el factor de corrección Tabla II.
- Multiplique el valor de calibración de la Tabla I por el factor de corrección de la Tabla II.

NOTA: Tabla I y II se encuentran en la parte posterior del instrumentos

EJEMPLO

Supongamos una temperatura = 21°C y una altura = 1000 pies (350 m). De la Tabla I el valor de calibración para 21°C es 9.0 ppm. De la Tabla II el factor de corrección para 1000 pies es 0.96. Luego el valor de corrección de calibración es $9.0 \times 0.96 = 8.6$ ppm.

- Coloque el switch principal en el rango apropiado de ppm y ajuste con la perilla de calibración hasta que la aguja lea el correcto valor de calibración calculado. Espere 2 minutos para verificar la estabilidad de la calibración. Reajuste si es necesario.

OXIGENO DISUELTO
TABLA I

Temperatura °C	PPM Oxígeno Disuelto	Temperatura °C	PPM Oxígeno Disuelto
0	14,6	23	8,7
1	14,2	24	8,5
2	13,9	25	8,4
3	13,5	26	8,2
4	13,2	27	8,1
5	12,8	28	7,9
6	12,5	29	7,8
7	12,2	30	7,7
8	11,9	31	7,5
9	11,6	32	7,4
10	11,3	33	7,3
11	11,1	34	7,2
12	10,8	35	7,1
13	10,6	36	7,0
14	10,4	37	6,8
15	10,2	38	6,7
16	9,9	39	6,6
17	9,7	40	6,5
18	9,5	41	6,4
19	9,3	42	6,3
20	9,2	43	6,2
21	9,0	44	6,1
22	8,8	45	6,0

=====

T A B L A I I

PRESION ATMOSFERICA mm Hg	ALTITUD EQUIVALENTE Pies	FACTOR CORRECCION
775	540	1,02
760	0	1,00
745	542	0,98
730	1094	0,96
714	1688	0,94
699	2274	0,92
684	2864	0,90
669	3466	0,88
654	4082	0,86
638	4756	0,84
623	5403	0,82
608	6065	0,80
593	6744	0,78
578	7440	0,76
562	8204	0,74
547	8939	0,72
532	9694	0,70
517	10472	0,68
502	11273	0,66

m = pies x 0,305

12. MEDIDA DE OXIGENO DISUELTO

- Con el instrumento preparado para su uso y la celda calibrada, coloque la celda en la muestra a ser medida y agítela moviéndola hacia arriba y hacia abajo. Esto siempre y cuando no pueda, por motivos de acceso, ser medida directamente en el río y tenga que hacerlo en la botella.
- Deje suficiente tiempo para que la celda se estabilice a la temperatura y al C.D. de la muestra.
- Lea la concentración de Oxígeno Disuelto.

BATERIAS

Reemplace las baterías o recárguelas, si el ajuste a la Línea Roja no puede ser efectuado, o si no puede hacerse la calibración del instrumento.

Para reemplazar las baterías remueva los 6 tornillos que sostienen la cubierta del instrumentos.

Precaución

Desconecte el cargador de baterías antes de remover la cubierta.

La vida de la batería debería ser de tres años o más. Recargue las baterías durante toda la noche hasta completar 16 hrs., con el instrumento en OFF y la perilla con la línea roja girada al máximo hacia la derecha.

12.1 PREPARACION DE LA CELDA PARA OXIGENO DISUELTO

- 1.- Desatornille el protector del sensor. Remueva el O-ring, y membrana, lave profusamente el sensor con agua destilada.
- 2.- Llene la celda con el electrolito (KCl), e instale una nueva membrana siguiendo los siguientes pasos:
 - a.- Tome la celda en su mano izquierda. La ventana de compensación de presión debe quedar hacia la derecha. Sucesivamente llene el sensor con el electrolito, mientras bombea el diafragma con un objeto suave y romo; como por ejemplo la goma que tienen algunos lápices en su parte posterior. Continúe llenando y bombeando hasta que no aparezcan más burbujas de aire.
 - b.- Asegure una membrana entre su pulgar izquierdo y la celda. Agregue más electrolito a la celda hasta que un gran menisco cubra totalmente el cátodo de oro.
NOTA: manipule la membrana con cuidado tocando sólo los extremos.
 - c.- Con el pulgar e índice de la otra mano agarre el otro extremo de la membrana.
 - d.- Con un movimiento continuo, extiéndala sobre y hacia abajo del sensor. Extienda la membrana en todo el contorno de la celda.
 - e.- Asegure el extremo de la membrana bajo el índice de la mano izquierda mientras sostiene la celda.
 - f.- Coloque el O-ring en el extremo de la celda, teniendo cuidado de no tocar la superficie de la membrana. No

deben quedar arrugas en la membrana, ni burbujas de aire atrapado. Algunas arrugas pueden ser removidas, con suaves tirones de los bordes de la membrana, bajo el O-ring.

g.- Corte el exceso de membrana con una tijera o cuchillo afilado. Cuide que el sensor de temperatura no quede cubierto por la membrana.

3.- sacuda el exceso de electrolito y reinstale el protector del sensor.

entrenado.

Por esta razón, la Dirección General de Aguas por intermedio de sus Directores Regionales han designado en esta labor a sus respectivos hidromensores.

13. TIPOS DE MUESTREOS DE SEDIMENTOS

13.1 Muestreos superficiales o abreviados

13.1.1 Muestreo con canastillo

Se realiza desde un Puente o Carro de Aforo y en el centro de la corriente donde se obtienen las muestras más representativas.

Siempre se deben llevar dos botellas para realizar un muestreo con canastillo. Se introduce la botella sin tapa al canastillo de muestreo y se asegura con una lazada del cordel de sustentación. Se baja hasta tocar levemente con el canastillo la superficie del agua, de modo tal que se inicie un movimiento pedular en el sentido longitudinal del escurrimiento, y en una ubicación aproximada a un metro aguas arriba, se deja alargar el cable de modo que la botella se sumerja completamente en el agua, sacándola al observarse que ha alcanzado el volumen correcto.

Una vez izada la botella, antes de retirarla del canastillo, y aprovechando que la botella es semi-transparente, se verifica que el volumen de muestra recogido esté dentro del rango aceptable ($3/4$ de envase). Si no se cumple esta condición, por estar llena al máximo, se deberá tapar antes de retirarla del canastillo. Se anota en el formulario la observación correspondiente y se repite el muestreo con la otra botella limpia. Por otro lado, si la botella quedara bajo la mitad de su volumen se remuestra en la misma botella para completar el volumen indicado.

Luego de verificar que el nivel está en el rango aceptable se tapa y se retira del canastillo. Se anotan en el formulario todos los antecedentes solicitados, más las observaciones, si es que se producen, y se da por terminado el muestreo.

13.1.2 Muestreo de Orilla con Vadeo

La técnica recomendada para realizar un muestreo superficial vadeando desde la orilla, consiste en adentrarse en el escurrimiento hacia la vertical de mayor velocidad tanto como sea posible sin arriesgar la seguridad del operador. Luego debe ubicarse mirando hacia aguas arriba con el brazo extendido hacia adelante sosteniendo la botella inclinada en un ángulo tal que permita, al estar dentro del agua, la salida del aire sin burbujeo. La botella se sumerge parcialmente en el escurrimiento, y se retira al observar que el volumen de la muestra alcanza el nivel deseado. Enseguida la botella se tapa y recién el operador sale del agua. El muestreo se termina sólo después de haber realizado las correspondientes anotaciones en el formulario respectivo.

MEDICION DE SEDIMENTO EN SUSPENSION

Este manual describe las técnicas de terreno para la medición de sedimentos fluviales. La diversidad de los medios ambientes hidrológicos y físicos, además de la exigencia respecto de los datos, han hecho deseable que la persona a cargo de las mediciones de sedimentos esté familiarizada con los conceptos básicos relativos a los sedimentos, a los equipos y a las técnicas que deben ser usadas para realizar una oportuna y eficiente medición de ellos.

Las necesidades, para el conocimiento del sedimento en suspensión en los ríos, hacen necesario obtener un número suficiente de muestras superficiales e integradas en profundidad para definir la concentración, ya sea sobre una base continua o periódica, dependiendo de la naturaleza de la corriente y de la precisión exigida. En lugares en los cuales un registro de concentración diaria o continuo es requerido, muchos de los muestreos de rutina son realizados por observadores locales, contratados para recoger las muestras superficiales en una o más verticales en la sección vertical de la corriente y en una o más horas de cada día. Estos observadores requieren una considerable supervisión. Ellos están para lograr la meta de obtener el número y frecuencia deseada de muestras, para definir un buen registro de concentración de sedimentos en suspensión.

Además de la supervisión, dada a los observadores, es necesario mantener un programa periódico, para obtener muestras adicionales, para usar en conjunto con las muestras de los observadores. Estas muestras adicionales son usadas para asegurar que las muestras de los observadores puedan ser ajustadas a la concentración real de la sección transversal. Semejante programa requiere de un personal técnicamente

43.1.3 Muestreo de Orilla sin Vadeo

El aspecto fundamental que hay que tener presente para la adecuada realización de un muestreo de orilla sin vadeo es determinar la mejor ubicación posible del observador en el momento de muestrear. Naturalmente no existe regla general aplicable a todos los casos posibles que se pueden dar en los distintos ríos, y aún, en un mismo río para distintas condiciones de escurrimiento. Sin embargo, se puede establecer algunas condiciones indeseables que se deben evitar al ubicar los puntos de muestreo, tales como: sectores de aguas muertas; remansos; remolinos; sectores de excesiva vegetación, etc.

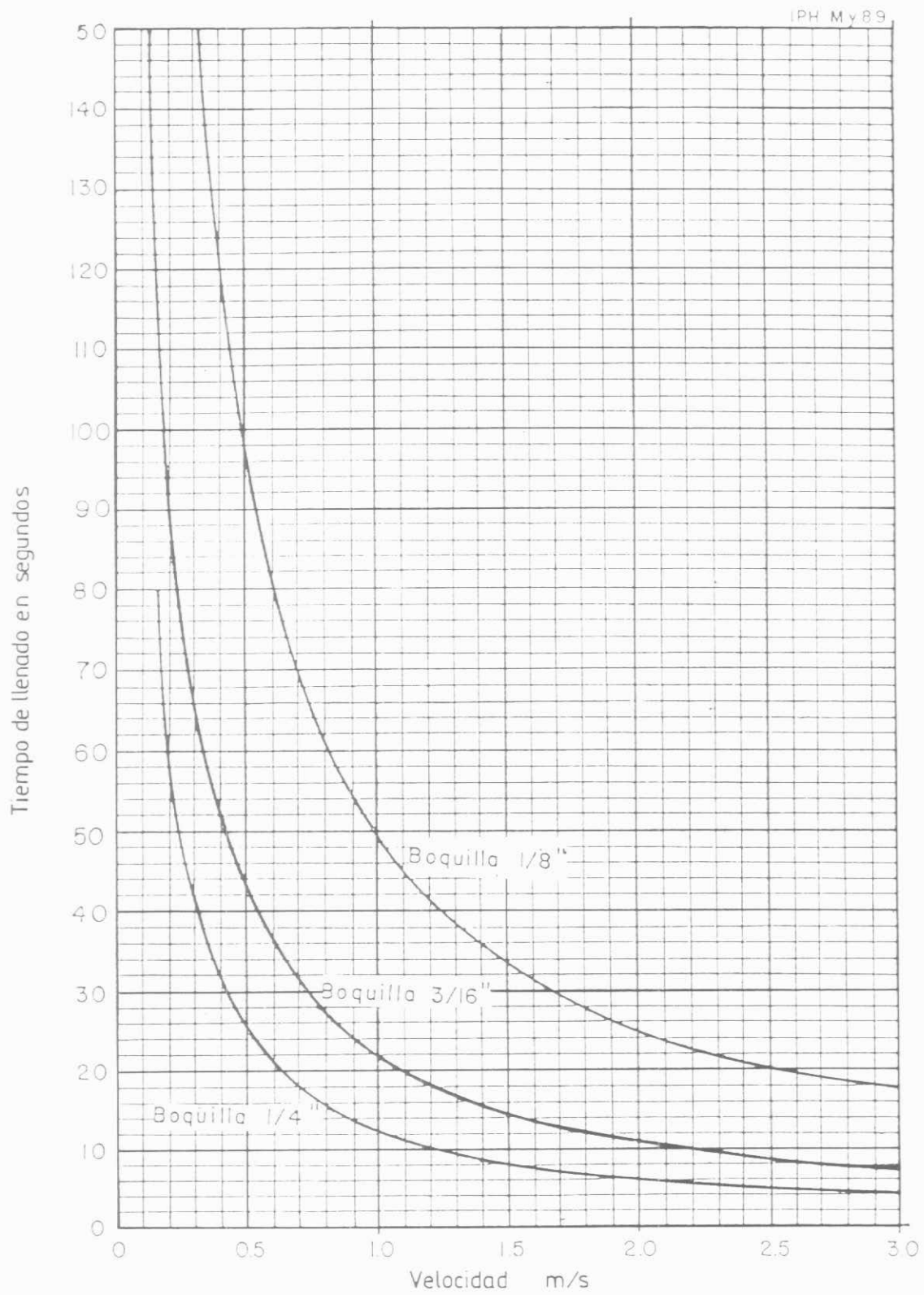
El observador deberá ubicarse en un lugar lo más cerca de la corriente que sea posible, sin correr riesgos innecesarios, de modo de alcanzar una zona del escurrimiento que tenga un flujo paralelo a la dirección principal (plenamente desarrollado), teniendo presente de evitar las condiciones indeseables antes mencionadas. Una vez ubicado en el punto de muestreo, el observador sosteniendo firmemente una botella limpia y destapada, debe extender su brazo hacia el centro de la corriente, colocando la botella en un ángulo que permita al estar dentro del agua, la salida del agua sin burbujeo. La botella se sumerge paralelamente a la dirección principal y se retira al observar que el volumen de la muestra alcanza el nivel deseado. La botella se tapa y se anota en el formulario, las observaciones correspondientes.

14. MUESTREOS EN PROFUNDIDAD CON INTEGRADORES

- Se muestreará en verticales elegidas de tal forma que entre ellas no escurra más del 10% del caudal total. (Similar a aforos).
- En cada vertical se medirá la velocidad media del flujo y la profundidad.
- En cada vertical se tomará una muestra. Cada muestra se dejará en el mismo frasco usado en el muestreador.
- Las curvas de tarado del muestreador deben dar, para un cierto punto de la sección y para una determinada velocidad y nivel del río, el tiempo de llenado de la botella. Este tiempo es además función del tipo de boquilla que se emplea. (Fig.1).
- El tiempo que transcurre entre el momento en que el muestreador se introduce en el agua y cuando emerge de ella debe ser igual al señalado por las curvas de tarado del muestreador.
- El tipo de boquilla debe elegirse de modo que el ascenso o descenso del muestreador se haga entre los siguientes límites: 1 metro de descenso o ascenso cada 5 segundos a un metro de descenso y ascenso cada 10 segundos.
- Únicamente en los casos en que sea posible utilizar velocidades comprendidas entre los límites indicados, debido a no contar con una boquilla menor, se podrán aumentar las velocidades señaladas en el punto anterior.

- Es conveniente que el frasco se llene por lo menos hasta el 75% de su capacidad. Se puede aceptar un máximo de 2 muestras sacadas con un volumen inferior al 75% pero mayor que el 50% de su capacidad.
- Deberá deshecharse todo frasco que llegue lleno a la superficie, y se muestreará de nuevo en otro frasco limpio.
- En ríos poco profundos y velocidades bajas, es más exacto reintegrar más de una vez, para lograr el volumen deseado.
- Cada botella de muestra, cuando sea sacada del muestreador debe ser tapada inmediatamente e identificada apropiadamente.
- Una vez terminado el muestreo integrado se tomará una muestra superficial en las dos verticales centrales del cauce.
- En ríos que presenten velocidades muy altas, que no permitan la realización del aforo en la estación, tampoco se hará el muestreo integrado. En su reemplazo se tomará una muestra superficial en tres verticales donde se haga el aforo.
- En secciones de caudales muy bajos que no permitan la operación del D-74 se muestreará con el D59/0 DH-48. Si no se tiene estos últimos muestreadores se tomarán muestras superficiales.
- Debe evitarse todo tipo de obstrucciones sumergidas aguas arriba o adyacentes al muestreador para no tener interferencias con el flujo próximo a la boquilla.

MUESTREO INTEGRADO
TIEMPO DE LLENADO ENVASE 400 cc
fig. Nº 1



15. Temperatura del Agua

Los datos de temperatura del agua pueden parecer poco importantes en comparación con los datos de sedimento. Sin embargo, tiene una creciente lista de usos. fuera de ser un parámetro de calidad del agua, es necesaria para el cálculo de conductividad. La temperatura o viscosidad del flujo, afecta la suspensión, transporte y depósito de sedimentos y puede afectar la rugosidad en una corriente con lecho de arena.

15.1 Temperatura del agua con vadeo

El mejor método para obtener la correcta temperatura del agua, es sumergir el termómetro mientras se vadea. El termómetro es mantenido bajo el agua aproximadamente medio minuto, para permitir que la temperatura del termómetro se equilibre con la temperatura del agua. El bulbo del termómetro debe siempre permanecer en el agua, hasta después que la lectura sea obtenida. La lectura de un termómetro mojado cuando es expuesto al aire puede disminuir varios grados en cuestión de segundos, debido a la evaporación, si el aire está seco o el viento está soplando. Asegúrese que la ubicación en la corriente donde se toma la temperatura no esté afectada por un manantial o un tributario.

15.2 Temperatura del agua sin vadeo

Cuando no es posible vadear dentro de una corriente y tampoco se puede acceder a la orilla, la temperatura del agua debe ser tomada de una botella de muestra. Para ello el termómetro debe ser sumergido dentro de una botella ya ambientada a la temperatura aproximada del río. Se debe dejar

aproximadamente 15 segundos y leer la temperatura. El termómetro deberá ser leído mientras el bulbo esté sumergido. es recomendable usar los muestreos de las verticales del centro del escurrimiento.

16. RESPONSABILIDADES DEL HIDROMENSOR

- El hidromensor indicará al observador el punto de muestreo. Lo hará de tal forma que permita su clara identificación en cualquier condición del escurrimiento (lo ideal es identificar una vertical sobre el cable andarivel).
- Deberá controlar regularmente el modo de operar del observador para que siga el procedimiento adecuado.
- Debe mantener un correcto control de: fecha de entrega de botellas y formularios, duración y fecha de intercambio de botellas, en cada una de las estaciones a su cargo.
- Se preocupará por la buena mantención del material entregado al observador y de su reposición cuando corresponda, vigilará también el lugar donde el observador guarda las cajas a objeto de que éstas no sean dejadas a la intemperie o en lugares húmedos, lo que acelera su deterioro.
- Al retirar las cajas con muestras revisará, en conjunto con el observador, que concuerde lo muestreado con lo anotado en el formulario, con el objeto de aclarar en el terreno mismo, cualquier discrepancia o falta de muestreo.
- Entregará las muestras en total conformidad al centro de filtrado.
- Cuando realice el intercambio de cajas, tomará dos muestras en la misma vertical de rutina y con el mismo método del observador.

- Será responsabilidad del hidromensor, la obtención de muestras integradas, junto con el aforo líquido, indispensable para el cálculo de la concentración de sedimento.
- Deberá preocuparse de entregar al centro de filtrado los formularios (rutinario y detallado) con todo los datos en ellos solicitados.
- También deberá velar, por la buena presentación y legibilidad de estos formularios. Si así no fuera, deberán ser pasados en limpio, antes de ser despachados al laboratorio central.

17. OBLIGACIONES DEL OBSERVADOR

- Efectuar los muestreos rutinarios todos los días, incluyendo domingos y festivos. Debe darse especial importancia al muestreo en los días de lluvia y/o nieve.
- Sacar las muestras siempre en el mismo punto de la corriente, el cual ha sido previamente especificado por el hidromensor a cargo de la estación.
- Las botellas están dotadas de un número de orden que las hace únicas y están ordenadas en las cajas de menor a mayor, lo cual, da un orden de trabajo tanto en terreno como posteriormente en el laboratorio, por lo tanto el observador debe revisar el orden al momento de recibir las cajas y debe respetar ésto al momento de realizar los muestreos.
- Cada una de las muestras debe ser recogida en una botella que debe estar limpia al momento de introducirse en el canastillo metálico que se usará para muestrear.
- El volumen del agua contenido dentro de la botella de muestreo debe quedar comprendido entre la mitad y tres cuartas partes de capacidad máxima. Si una botella se llena hasta rebasar, ésta debe ser tapada y sacada del canastillo. Se anota en el formulario la observación correspondiente, luego de lo cual se debe recoger otra muestra en una botella limpia.
- Una vez sacada la muestra, la botella debe ser cuidadosamente tapada y se anota en el formulario, claramente la siguiente información: fecha, hora efectiva que realizó el muestreo (no anotar la hora en que debería

haberse realizado), temperatura, altura limnimétrica, N° de la botella y estado del tiempo.

- El observador deberá completar el formulario con todos los antecedentes en él solicitados: nombre de la estación, región, hoya hidrográfica, día de inicio del formulario y día del cierre, mes, año, N° de la caja, distancia de la orilla al punto de muestreo y orilla de la cual se hace referencia.

También el observador anotará en el margen o al pie del formulario, cualquier anomalía que vea en el río como: gran turbidez y/o cambio de coloración sin explicación.

- En caso de pérdida de una botella, se realizará el muestreo en la botella siguiente, ya que esto, no es causal para no muestrear.
- Las botellas y el equipo entregado al observador, sólo debe ser usado para los fines de extracción de muestra. Por ningún motivo se debe llenar con otros líquidos extraños a su uso.
- Finalmente, es de suma importancia que el trabajo del observador sea realizado con gran honradez, es decir no debe cambiar la hora ni los puntos de muestreo, no debe hacer doble muestreo cuando en alguna ocasión y por un motivo muy justificado, dejó de muestrear. Es preferible anotar la constancia en el formulario de dicha omisión.

18. INSTRUCCIONES PARA CENTRO DE FILTRADOS

18.1 Operaciones Preliminares

- Al llegar las muestras al Centro de Filtrado, ingresar a un libro y registrar nombre de la estación, fecha de inicio y término del muestreo, número de botellas y numeración de éstas.
- Separar siempre las muestras a filtrar por estaciones, guiándose por el formulario de muestreo.
- Para mayor facilidad y evitar errores, ordenar cronológicamente y correlativamente dichas muestras.
- Preparar los sobres, completando los datos en él solicitados.
- Pesar las botellas con agua y sin tapa.

18.2 Preparación del Filtro

- Colocar una hoja de papel filtro seco sobre el embudo Buchner.
- Hacer funcionar la bomba de vacío.
- Humedecer el papel con agua y ajustarlo bien de manera que no queden burbujas de aire.

18.3 Procedimiento de filtración

- Agitar el contenido de la botella y verterlo suavemente sobre el embudo Buchner ya preparado. Mediante el matraz lavador, lavar el interior de la botella, vaciando las aguas del lavado en el embudo.
- Con el matraz lavador arrojar un chorro de agua a la pared del embudo de tal manera que el sedimento adosado a ella se amontone en el centro del papel filtro.
- Cuando haya pasado completamente por el filtro la muestra y el agua del lavado, desconecte el vacío.

18.4 Secado de las muestras

- Utilizando una pinza hacer 2 dobleces al papel filtro, de modo que quede doblado en 4 partes y con el sedimento en su interior. Usar el vértice del papel filtro para retirar y limpiar el sedimento adherido al embudo.

Doblar el papel filtro las veces que sea necesario, para evitar así la pérdida de sedimento.

- Guardar el papel filtro con el residuo sólido a secar en los sobres de sedimentos ya preparados con los correspondientes datos e identificaciones. Trabajar siempre con una muestra, evitando así que el filtro sea guardado en un sobre que no le corresponda.

- Poner los sobres, con el sedimento, en el horno de secado, durante el tiempo suficiente para que el filtro se seque.

18.5 Determinación del volumen de la muestra

- Pesar la botella vacía.
- La diferencia entre el peso de la botella llena y vacía corresponde al volumen de la muestra (agua, d 1). Anotar este valor en litros, con tres decimales.

18.6 Muestra con mucho material en suspensión

En este caso el prodecimiento de filtrado debe contemplar una homogenización de la muestra, para posteriormente fraccionarla en la cantidad de filtros que sean necesarios.

18.7 Instrucciones Complementarias

- Todos los implementos que se utilizan en la filtración deben estar rigurosamente limpios.
- Guardar las botellas vacías, prolijamente lavadas y en orden correlativo en sus respectivas cajas, quedando de esta manera listas para salir nuevamente a terreno.

- Llevar un registro de las salidas de botellas a terreno, N° de ellas, período de duración y fecha de reposición por perdida o deterioro.
- Hacer llegar oportunamente al Laboratorio Hidrológico los sobres conteniendo las muestras del mes.
- El paquete con sobres de sedimentos, debe venir con el formulario de muestreo, pasado en limpio, con el objeto que el formulario del observador quede en la región, como constancia de lo que se envía.
- Los formularios deben venir completos, vale decir con los todos los antecedentes en él solicitados.

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA

PROYECTOS DE ESTACIONES FLUVIOMETRICAS

1991

INDICE GENERAL

- 1. ANTECEDENTES BASICOS DE TERRENO
 - 1.1. REQUISITOS BASICOS
 - 1.1.1. LUGAR DE EMPLAZAMIENTO
- 2. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA ANTEPROYECTO Y PROYECTO
 - 2.1. TOPOGRAFICOS
 - 2.2. MECANICA DE SUELOS
 - 2.3. HIDRAULICOS
 - 2.4. CONSTRUCTIVOS
 - 2.5. LEGALES
- 3. ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION DE UNA ESTACION FLUVIOMETRICA
 - 3.1. CONSIDERACIONES GENERALES
 - 3.2. PROGRAMACION DE OBRAS
 - 3.3. INSTALACION DE FAENAS
 - 3.4. REPLANTEO
 - 3.5. ROCE Y DESPEJE
 - 3.6. EXCAVACIONES
 - 3.7. RELLENOS
 - 3.8. ADMINISTRACION DIRECTA
- 4. MATERIALES

CONTINUACION INDICE

- 5. CRITERIOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL
 - 5.1. CARGAS
 - 5.2. COMBINACIONES DE CARGAS
 - 5.3. DEFORMACIONES ADMISIBLES
 - 5.4. ACERO ESTRUCTURAL
 - 5.5. HORMIGON ARMADO
 - 5.6. FUNDACIONES

INTRODUCCION

Uno de los valores más significativos de una nación es el conjunto de obras que conforman su infraestructura básica, ellas constituyen un capital social que permite el adecuado funcionamiento de las actividades económicas y de servicio a la comunidad, a través de las cuales un pueblo se desarrolla y mejora sus condiciones de vida.

El Ministerio de Obras Públicas es la Secretaría de Estado que tiene como finalidad principal ejecutar la política del Supremo Gobierno en materia de Infraestructura Pública.

Entre las misiones del Ministerio de Obras Públicas está la de estudiar a nivel nacional, regional y de cuenca hidrográfica el recurso agua, de modo que pueda servir de base al desarrollo nacional.

La Dirección General de Aguas es el organismo que dentro de la Administración Central del Estado y bajo la dependencia del M.O.P. ejerce las funciones de estudio, investigación, evaluación, planificación, asignación y ejercicio de los controles administrativos y legales relativo al recurso agua y sus usos.

Dentro de la función investigadora del recurso la Dirección General de Aguas debe mantener, ampliar y operar toda la red de estaciones hidrométricas del país.

Las estaciones hidrométricas tienen como finalidad principal la de medir los niveles de la corriente y del gasto o caudal. Para ello, es necesario que estas, estén ubicadas en lugares adecuados desde el punto de vista hidráulico y sus estructuras estén diseñadas para que cumplan cabalmente las funciones que se requieran. Por estas razones es importante conocer los aspectos principales a considerar en la ejecución de un proyecto de estación hidrométrica.

1.- ANTECEDENTES BASICOS DE TERRENO, A TENER EN CUENTA EN LA
INSTALACION DE UNA ESTACION FLUVIOMETRICA

1.1 Requisitos Básicos

1.1.1 Lugar de Emplazamiento

- a) El cauce del río donde se emplazará la estación deberá ser recto. . Se recomienda que dicho tramo recto tenga un largo de por lo menos tres veces el ancho de la sección, tanto hacia aguas arriba como hacia aguas abajo de la sección de aforos, de forma que no quede influenciada por las curvas de aguas arriba y aguas abajo.
- b) En la zona de influencia no deberá existir un afluente de importancia.
- c) Deberá tener una buena sección de aforo y una buena sección limnimétrica las que, preferentemente, deben estar en una misma sección transversal, de no ser posible la sección de aforo podrá ser diferente de la limnimétrica, si entre ambas, el lecho del río es lo suficientemente estable como para no alterar la correspondencia biunívoca entre la altura limnimétrica y el caudal aforado.
- d) El lecho del río en la zona de influencia deberá ser lo estable, preferentemente de lecho rocoso con vegetación mínima y sin presencia de rocas que produzcan alteraciones en el escurrimiento.
- e) El río deberá tener regimen subcrítico para caudales normales es decir, la velocidad del flujo menor que la crítica.

- f) La zona de emplazamiento deberá quedar accesible con ocasión de las grandes crecidas.
- g) El suelo de fundación de las estructuras, en la zona de emplazamiento, deberá ser preferentemente de buena calidad estructural.
- h) La zona de emplazamiento deberá permitir la materialización de una estructura económica.
- i) La zona de emplazamiento deberá garantizar seguridad en las instalaciones con ocasión de las grandes crecidas.
- j) Se deberá minimizar el daño ecológico y estético del lugar de emplazamiento.

2.- ESPECIFICACIONES GENERALES PARA EL ANTEPROYECTO Y PROYECTO DE UNA ESTACION FLUVIOMETRICA.

2.1 Topográficos

a. Anteproyecto:

- a.1 Punto de referencia topográficos (PR). Se deben materializar dos PR de forma tal que no queden expuestos a daños. Se ubicarán uno a cada lado del río lo suficientemente alejados de la zona de emplazamiento, como para quedar totalmente fuera del sector afectado por las grandes crecidas. De ser posible, se referirán a PR del IGM con el fin de conocer su altitud (m.s.n.m.).
- a.2 Plano de levantamiento taquimétrico: Se debe ejecutar un levantamiento taquimétrico de la zona de interés con curvas de nivel cada 50 cm. referido en cota a los PR. Se

usará preferentemente la escala 1:200. El plano deberá abarcar como mínimo 120 mts. de largo y 50 mts. hacia el exterior de cada ribera del río cubriendo la zona ocupadas por las aguas durante las grandes crecidas y en el lugar indicado por la Inspección Fiscal.

- a.3 Plano de Perfil Longitudinal: Se debe realizar un perfil longitudinal en los mismos 120 mts. de largo (como mínimo), indicados anteriormente. Por el centro del río si es posible, y por ambas riberas, tomando el eje hidraulico, en el momento que se esten ejecutando los trabajos.
- a.4. Planos de Perfiles Transversales en escala 1:500. Se tomarán perfiles transversales del río cada 10 mts., en la longitud indicada anteriormente Los perfiles transversales abarcaran la zona indicada en el punto a.2..
- a.5 Mapa de ubicación. Se debe confeccionar un mapa geográfico de la zona, individualizando la Estación Fluviométrica, los pueblos principales, los cercanos a esta y las vías de acceso, en una fotocopia del mapa del IGM a escala 1:50,000 tamaño carta..
- a.6 Fotografías. Se debe tomar la cantidad de fotos a color suficientes como para tener una buena visualización de la zona de interés y de la zona de emplazamiento de ambas riberas del río, y algunas deben ser panorámicas.

Las fotografías deberán mostrar elementos de un tamaño conocido a fin de poder tener una buena referencia del tamaño de los objetos del entorno. si no existieran en el paisaje, deberá el fotógrafo preocuparse de obtener dicha referencia, por ejemplo: una mira topográfica, una persona, un vehículo, etc.

Todas las fotografías de detalle deberán tener una panorámica que las incluya, tomada preferentemente en la misma dirección. En todo caso, se deberá poder individualizar claramente en la vista panorámica el detalle que se pretende resaltar.

b. Proyecto :

En la Etapa de Proyecto se debe considerar lo siguiente:

b.1 Mapa geográfico de ubicación de la estación a escala 1:50.000 (IGM).

b.2 Planta General que incluye levantamiento taquimétrico.

b.3 Perfil Transversal de la sección elegida, indicando las estructuras de la instalación, con sus respectivas dimensiones y cotas referidas al P.R. general. De ser diferente la sección limnimétrica y la de aforo se levantarán topográficamente las dos secciones.

b.4 Plano de cada una de las estructuras que sean necesarias diseñar, incluyendo planos de detalle o planos tipo.

b.5 Especificaciones Técnicas, indicando todas las condiciones constructivas del proyecto.

b.6 Memoria de cálculo del proyecto

2.2 MECANICA DE SUELOS

a.1 Característica del suelo. Se deberá analizar las características estructurales del suelo en la zona de interés, evaluando ocularmente la potencialidad de fallas de los taludes de las riberas con ocasión de las grandes crecidas e infiriendo la necesidad de una protección artificial de éstas.

a.2 Pozo de reconocimiento. Se deberá realizar un pozo de reconocimiento en ambas riberas del río, en el lugar de emplazamiento de las fundaciones de las estructuras, de una profundidad mínima igual a dos veces el ancho de la superficie de las fundaciones probables, más la profundidad supuesta de la base de estas, a fin de analizar luego las características del suelo.

2.3 Hidráulicos

a.1 Gasto sólido. Se puede definir en forma cualitativa de acuerdo a una inspección ocular.

a.2 Estabilidad del lecho. Se determinará la potencialidad de fluctuaciones del lecho y la potencialidad de socavación que se genere con la materialización de las estructuras consideradas. La evaluación deberá considerar estados normales y crecidas del río. Se dará las recomendaciones que se considere de interés.

a.3 Niveles de aguas máximas y mínimas: Se determinará, en base a los antecedentes hidrológicos que se dispongan de la hoya hidrográfica de la Estación Fluviométrica proyectada, y/o en base a información de lugareños, el nivel de aguas mínimas y máximas los que deberán quedar indicados en el plano del Perfil Transversal de la sección elegida.

2.4 Constructivos

a.1 Agua de amasado. Se determinará de acuerdo a la normativa Chilena, la aplicabilidad del agua del río como agua de amasado para hormigón en masa y para hormigón armado (en conformidad a la norma INN Nch 1498). Se dará las recomendaciones que se considere de interés.

a.2 Agua de bebida. Se determinará la factibilidad de usar el

agua del río como agua de bebida y se darán las recomendaciones que se considere de interés.

a.3 Alternativas de Abastecimiento de agua. Si el agua del río no fuese apta para agua de bebida o para agua de amasado del hormigón, se deberá buscar alternativas de abastecimiento en la zona, las cuales serán analizadas.

a.4 Áridos. Se determinará la cantidad y calidad de los áridos de la zona, para su aplicación en hormigón, gaviones, mampostería y piedraplenes en conformidad con la norma INN Nch 163. Se determinará el porcentaje de finos de la arena y grava para hormigón.

2.5 Legales.- Se debe efectuar un catastro de las propiedades que son ocupadas por la Estación Fluviométrica propuesta, en ambas riberas del río, considerando las instalaciones de aforo e hidrométricas y las obras de control y anexas, poniendo énfasis en los caminos vehiculares de acceso en ambas riberas.

También en este catastro se deben determinar los probables compromisos que habrá que considerar con los propietarios comprometidos con la Estación Fluviométrica que se propone, para los efectos de poder materializarla. Por ejemplo: portones en cierros existentes, puentes en acequias, indemnizaciones por concepto de daños en plantaciones, servidumbres etc.

3.- ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION DE UNA ESTACION FLUVIOMETRICA

3.1 Consideraciones Generales

a.1 En el caso que se contrate la construcción de una Estación Fluviométrica, la Inspección Fiscal será la autoridad inmediata

para el Contratista de Construcción y le proporcionará a este toda la asesoría que requiera. La Inspección Fiscal tendrá plena autoridad sobre el Contratista de Construcción y sus trabajadores.

El Inspector Fiscal tiene amplias atribuciones, durante la etapa de construcción; puede disponer tanto del personal como de las maquinarias y materiales del Contratista, en el sentido de rechazar cualquier anomalía que se produzca.

a.2 Los Contratistas deberán estar inscritos en el Registro de Contratistas del Ministerio de Obras Públicas.

a.3 Responsabilidad. El Contratista de Construcción será el responsable durante las faenas por el resultado final de las obras y de una buena interpretación de las especificaciones dadas por el proyectista o por el Inspector Fiscal.

a.4 Construcción. La construcción de todos los elementos de la Estación Fluviométrica se debe realizar en estricta conformidad con las Especificaciones Técnicas, con los planos, con las instrucciones de la Inspección Fiscal y con las Bases Administrativas.

El Contratista debe respetar todas las disposiciones y normas del Instituto Nacional de Normalización (INN) que tengan relevancia con la construcción de la obra.

3.2 Programación de obras. El Contratista de Construcción debe realizar la programación de la construcción de las obras consideradas.

3.3 Instalación de Faenas. La instalación de faenas se debe ubicar dentro del area reservada para ello e indicada en los planos. La instalación de faenas deberá contar en lo posible con los elementos que se indican a continuación.

a.1 2,25 M2 de dormitorio por cada hombre en el pick de las faenas.

a.2 Bodega y pañol de tamaño suficiente para proteger los materiales y herramientas.

a.3 Servicios higiénicos adecuados, con una letrina cada 10 hombres.

a.4 Un comedor apropiado.

a.5 Dos oficinas de 45 M2. Las oficinas tendrán ventanas. Una de estas se destinará a la Inspección Fiscal.

3.4 Replanteo. El replanteo de las estructuras de la Estación Fluviométrica, la debe realizar un topógrafo o un Constructor Civil con el apoyo de alarifes idóneos, en conformidad con la Inspección Fiscal.

3.5 Roce y Despeje. En el roce y despeje del área de la zona de emplazamiento se debe ser cuidadoso de no remover árboles, troncos, raíces, etc., que no van a ser objeto de excavación posterior, con el objeto de evitar la erosión.

3.6 Excavaciones. Las excavaciones se pueden clasificar en: terreno blando, semiduro, duro, roca y con agotamiento.

Como "terreno blando" se considera aquel que se puede excavar con ayuda de chuzo y pala y que no tenga una presencia excesiva de árido grueso.

Como "terreno semiduro" se considera aquel que se puede excavar con ayuda de chuzo y pala, la excavación es lenta por la excesiva presencia de áridos gruesos u otra razón.

Como "terreno duro" se considera aquel que se puede excavar con ayuda de chuzo, combo y picota.

La clase "roca" deberá incluir formaciones geológicas firmemente cementadas, las cuales pueden ser extraídas, a juicio de la Inspección Fiscal, mediante taladros o tronadores con explosivos. Incluye asimismo, todos los bolones sólidos o trozos de roca aislados que excedan de 100 dm³ en zanjas o pozos.

Como "excavación con agotamiento" se considera toda excavación que se realice con la ayuda de bombas u otros equipos de agotamiento y siempre que estos se usen por lo menos el 50% del tiempo de trabajo.

3.7 Rellenos. Los rellenos se realizarán en capas uniformes horizontales menores o iguales a 15 cm. de material esponjado. Las capas se irán superponiendo debidamente compactadas. La compactación se debe ejecutar con los equipos adecuados al terreno y con la humedad que permita lograr la máxima densidad seca.

3.8 Si la construcción de la Estación Fluviométrica se efectúa por administración directa, deberá observarse las mismas consideraciones indicadas anteriormente

4.- MATERIALES ESPECIFICADOS PARA LAS ESTACIONES FLUVIOMETRICAS

ACERO.- De no considerarse otra cosa en los planos o en las especificaciones técnicas, se debe utilizar para todos los elementos, acero tipo A37-24ES, nuevo, sin defectos de laminación, de sección homogénea, constante y de dureza uniforme.

FIERRO.- De no considerarse otra cosa en los planos o en las especificaciones técnicas, se debe utilizar para todos los elementos de hormigón armado, fierro A44-28H con resaltes.

ALBAÑILERIA.- Se utilizará preferentemente albañilería con ladrillos fiscales o de muralla. En las albañilerías reforzadas (muros y pozos de profundidad mediana), se colocarán pilares de hormigón armado cada 3 metros y cadenas de hormigón armado cada 2 metros. Todos los muros de albañilería deberán tener un cimientado y un sobrecimiento de hormigón apropiado.

MAMPOSTERÍA DE PIEDRA.- Se utilizará la mampostería simple de bolones, de preferencia a los ladrillos, cuando cerca de la Estación Fluviométrica sea factible encontrar bolones apropiados.

MORTERO.- El mortero de pega de los ladrillos y de los bolones se deberá realizar con una dosificación 1:4 con arena gruesa. El mortero de estuco de la albañilería se deberá realizar con una dosificación 1:3 con arena fina.

CABLES.- Serán de acero, del tipo BOA, 6x19, alma de acero, de diámetros: 3/4", 7/8", 1", 1 1/8", 1 1/4", dependiendo de la luz en que serán utilizados. Los cables a utilizar deberán colocarse con la flecha correspondiente, de acuerdo a gráfico que se adjunta. Los cables serán PRODINSA o similar

ESTROBOS.- Serán de acero, PRODINSA o similar, de doble ojo (EYE/EYE). El estrobo se utilice colocado en los machones de anclaje; se debe pasar el ojo del estrobo por los fierros de anclaje del machón antes de concretar. El otro ojo del estrobo es para insertar el perno del grillete del tensor.

TENSOR.- El tensor a utilizar deberá ser del tipo JAW/EYE (grillete y ojo) y se debe utilizar el que corresponda a la carga de trabajo límite tabulada para los tensores. Los tensores a utilizar serán CROSBY o similar. El grillete (JAW) del tensor, debe colocarse en el ojo (EYE) del estrobo. En el ojo (EYE) del tensor va el cable andarivel.

MORDAZAS.- Después de pasar el extremo del cable andarivel por el ojo (EYE) del tensor, se deben colocar las mordazas separadas, y en número indicado en la tablas N°1 . La mordazas deberán ser del mismo diámetro del cable andarivel y CROSBY o similar. Las mordazas no deben apretarse excesivamente a objeto de no cizallar el cable o rodar el hilo de los pernos. El ideal, es utilizar llave de torque, ya que existe la tabla de apriete para ello.

HORMIGÓN.- Se considerará en general 3 tipos de hormigón: hormigón pobre, hormigón simple, hormigón armado. En los planos o especificaciones técnicas aparecerán las característica de resistencia de los Hormigones.

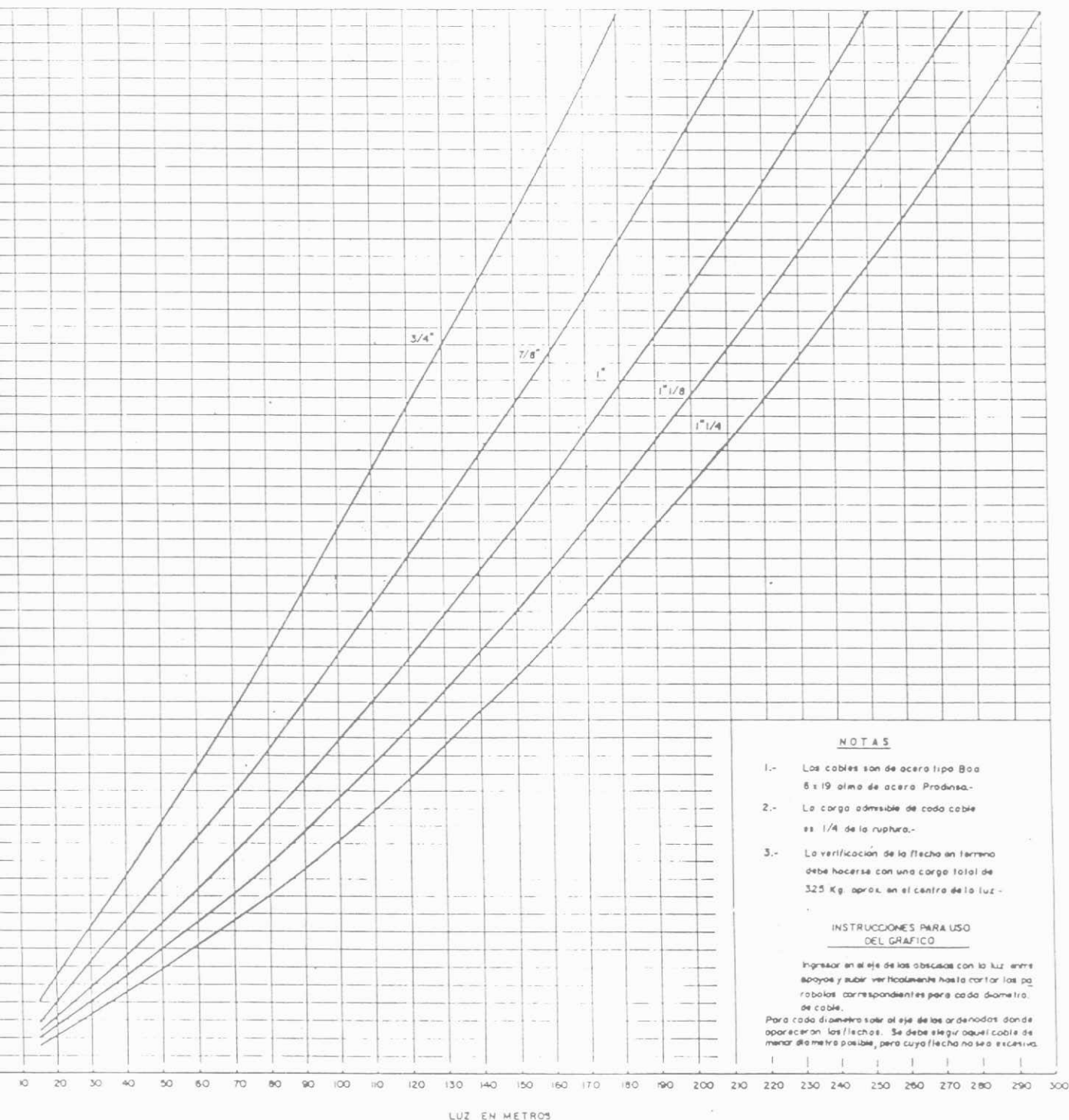
TABLA Nº 1

NUMERO MINIMO DE MORDAZAS A COLOCAR EN LOS EXTREMOS DE
LOS CABLES DE AFORO SEGUN LUZ O DISTANCIA ENTRE APOYOS.

De 000 a 130 mts. de luz	:	4 mordazas cada 50 cm.
De 131 a 190 mts. de luz	:	5 mordazas cada 70 cm.
De 191 a 250 mts. de luz	:	6 mordazas cada 90 cm.
Mayor de 251 mts. de luz	:	7 mordazas cada 120 cm.

NOTA: Las mordazas deberán ser de acuerdo al diámetro del cable y no se colocarán con un torque excesivo a objeto de no cizallar (cortar) el cable o rodar el hilo de los pernos, sino que se les dará el apriete mínimo que ofrezca seguridad.

DIAGRAMA DE FLECHAS MINIMAS PARA CABLES



NOTAS

- 1.- Los cables son de acero tipo Boa 8 x 19 alme de acero Prodinsa.
- 2.- La carga admisible de cada cable es 1/4 de la ruptura.
- 3.- La verificación de la flecha en terreno debe hacerse con una carga total de 325 Kg. aprox. en el centro de la luz.

INSTRUCCIONES PARA USO DEL GRÁFICO

Ingresar en el eje de las abscisas con la luz entre apoyos y subir verticalmente hasta cortar las parábolas correspondientes para cada diámetro de cable.
 Para cada diámetro salir al eje de las ordenadas donde aparecerán las flechas. Se debe elegir aquel cable de menor diámetro posible, pero cuya flecha no sea excesiva.

a.1 Hormigón pobre.- El hormigón pobre tiene aplicación en los emplantillados y en los rellenos de sobreexcavaciones de los sellos de fundación.

a.2 Hormigón simple.- El hormigón simple tiene aplicación en fundaciones y radieres.

a.3 Hormigón armado.- El hormigón armado tiene aplicación en anclajes, fundaciones, losas, muros, pilares.

a.4 Recubrimiento.- Se considerará un recubrimiento de 7 cm. para la estructura de hormigón armado en los casos que este enterrada, 5 cm. en los casos que quede expuesta al agua de escorrentía y 3 cm. para el resto.

a.5 Chaflanes.- Todas las aristas de los elementos de hormigón que queden a la vista deberán ser achaflanadas en 2 cm.

a.6 Protección asfáltica.- todas las superficies de hormigón que queden en contacto directo con el terreno circundante y hasta 10cm. sobre el nivel de este, deberán ser protegidas con una pintura asfáltica adecuada.

MADERA.- En los perfiles estructurales se deberá usar madera de roble pellín o madera de pino insigne *en lo posible* preservada. Como mínimo deberá tener una mano de aceite de linaza antes de pintarla.

Varios

a.1 Los clavos deberán ser de acero galvanizado

a.2) Los pernos de acero deberán ser pernos calibrados, y en madera, pernos coche. La calidad del acero deberá estar normalizada.

a.3 Pintura.- En la madera se debe considerar la aplicación de una mano de aceite de linaza cocido y dos de óleo brillante. En el acero se debe considerar la aplicación de dos manos de un anticorrosivo de alta resistencia y dos manos de esmalte.

3.-CRITERIOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL

Alcance.- Esta especificación establece los criterios para el diseño de las estructuras utilizadas en instalaciones fluviométricas.

Generalidades.- Los diseños y cálculos se debén hacer en conformidad con las normas que se señalan y los requerimientos específicos que en ellas se establecen. En todo caso las estructuras diseñadas, deben ceñirse al Manual de Planos Tipos para la Red Hidrométrica Nacional, de la D.G.A.

Normas de cálculos para materiales y cargas.- Los materiales y cargas en general se regirán por las normas chilanas vigentes, siendo las más importantes las que se señalan a continuación:

Acero Estructural: Especificaciones para el cálculo de estructuras de acero. INN Nch 427 of 76.

Ejecución de construcciones de acero. INN Nch 428

Hormigón Armado: Requisitos de diseño y cálculos. INN Nch 430

Requisitos Generales: INN Nch 170 of 85

Viento: Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones INN Nch 432 of 71

Nieve: Sobrecargas de nieve. INN Nch 431 of 77

5.1.- CARGAS.-

Cargas verticales.-

Carga Muerta: Comprende el peso propio de los elementos de la estructura y los dispositivos, equipos y estructuras adosadas

permanentemente a la estructura principal.

Para efectos de cálculo se considerarán como pesos específicos los siguientes:

Hormigón armado	2.40 T/m ³
Acero	7.85 T/m ³
Madera	1.00 T/m ³

Sobrecargas: Comprende las cargas que pueden estar o no presentes actuando sobre la estructura. Se incluyen en éstas las cargas de servicio.

Las más importantes son las siguientes :

Plataformas en General	300 Kg/m ²
Pasarelas (peatones)	400 Kg/m ²
Escaleras	300 Kg/m ²
Escalerillas	60 Kg/ml
Carro de Aforo	650 Kg
Nieve	según norma

Cargas Horizontales.-

Cargas de Viento.- Se evaluarán en conformidad con la norma.

Fuerzas de Fricción.- Para el cálculo de las fuerzas de fricción en apoyos se usarán las siguientes fracciones de los pesos actuantes.

Superficie	Factor de Fricción
Acero - Concreto	0.45
Acero - Acero	0.40
Concreto - Suelo	Según mecánica de suelos

Cargas de tierras.- Las cargas y empujes de suelo se calcularán de acuerdo a las características del suelo que sean avaladas por un informe de mecánica de suelo o se ajustarán a las características de los suelos tipo que se definen en este trabajo.

Temperatura.- Esta sollicitación deberá considerarse en el diseño de estructuras de acero. Se estima como mínimo la necesidad, para cualquier punto de considerar una variación de $\pm 20^{\circ}\text{C}$.

Sismo.- La acción sísmica se considerará como una carga horizontal igual a una fracción de la resultante vertical. Se aplicará el método Estático de análisis de acuerdo con la norma INN Nch 433.

El peso sísmico estará formado por las cargas permanentes y las sobrecargas reducidas a 50%.

5.2.- COMBINACIONES DE CARGAS

En general se utilizará el método de las tensiones admisibles, en el cual se usarán las siguientes combinaciones de cargas.

Normales.-

Carga permanente más sobrecargas normales.

Eventuales.- Se ponderan por 0.75

$(P.P + V)$

$(P.P + V + SCR)$

$(P.P + S)$

$(P.P. + T)$

Los significados asignados son los siguientes:

Peso propio : P.P.
Viento : V
Sismo : S
Var. Temp. : T
Sobrec. Red. : SCR

En cálculo de hormigón armado se podrá utilizar diseño en Rotura con las combinaciones que establece la norma

5.3.- DEFORMACIONES ADMISIBLES

Se aplicarán los siguientes límites para las deformaciones.

Enrejados metálicos	L/700
Vigas de alma llena en pasarela	L/1000
Columnas	H/300
Vigas en general	L/350

5.4.- ACERO ESTRUCTURAL

Tipos de Acero.- El diseño se basará en el uso de los siguientes aceros estructurales:

- Acero A37-24 ES
- Acero A42-27 ES
- Acero A52-37 ES

Las calidades y requisitos se regirán según la norma Nch 203. Los aceros deberán tener además una resistencia Charpy probeta en V, de 2.0 Kg.m a 21 C° como mínimo, medida según ASTM A370 para prevenir roturas frágiles a baja temperatura.

Espesores Mínimos.- Salvo indicaciones en contrario el acero estructural tendrá los siguientes espesores mínimos:

Elementos principales : 5 mm.

Elementos secundarios : 4 mm.

La calidad de principal o secundario se refiere a la incidencia en su respuesta estructural en relación a la falta del elemento.

Conexiones.- A menos que se indique lo contrario, se usarán los siguientes tipos de conexiones:

a) Para uniones de taller: de preferencia, soldadura

b) Para uniones de terrenos: pernos de alta resistencia A 325 de 5/8" mínimo.

En ningún caso se permitirán soldaduras de cabeza en terreno.

c) Conexión mínima: 2 pernos

Pernos de anclaje.- Los pernos de anclaje serán de calidad A 42-43.

El diámetro mínimo sera de 3/4" excepto en estructuras secundarias en las que se podrá usar pernos de 5/8".

Esbeltez y parámetros de cálculos.- La esbeltez de los elementos en compresión, no deberá exceder el siguiente valor

$$kl/i \leq (2 * E / Ff)^{1/2}$$

Siendo: Kl : longitud de pandeo
 i : radio de giro mínimo
 E : módulo de elasticidad = 2100 T/cm²
 F_f : tensión de fluencia

La fórmula corresponde a la de Euler para pandeo flexional. La esbeltez de los elementos principales, no debe superar el valor indicado por dicha fórmula, según señalan las normas AISI, AISI y Nch 427. La verificación de los elementos sujetos a pandeo flexional, se realizará según la metodología y tablas de valores que indican dichas Normas, considerando todos los factores que intervienen en el cálculo, como los factores de reducción de tensiones (ϕ). El pandeo por flexotorsión, se verificará también de acuerdo a Normas.

Para los distintos tipos de acero el valor de la Esbeltez resulta:

A 37- 24 ES	131.36
A 42- 27 ES	123.84
A 52- 34 ES	110.36

Las esbelteces máximas para los elementos en tracción será para todos los casos menor de 250.

El punto de cruce de las diagonales se puede considerar como punto fijo si una de ellas está traccionada y están unidas en dicho punto.

5.5.- HORMIGON ARMADO.-

Las estructuras de hormigón armado serán diseñadas en conformidad con los requerimientos de la Norma Nch- 430.

Resistencia del hormigón.- El diseño estará basado en el uso del hormigón Grado 20 como mínimo.

Equivale a resistencia cúbica mayor de 200 kg/cm².

Las fundaciones apoyadas sobre terreno no rocoso tendrán un emplantillado de 5 cm. de hormigón pobre con un mínimo de 170 Kg de cemento/m³.

En el caso de fundaciones a las que básicamente interesa darle peso, y que tengan dimensiones considerables, se podrá usar en su parte interior, rellenos en base hormigón de 170 kg de cemento/m³.

Las armaduras de refuerzo deberán cumplir con los requerimientos de la norma INN Nch 211 of 69.

En fundaciones se usará al menos una armadura de piel con una cuantía mínima de 2 por mil en cada cara debiendo en todo caso hacerse las verificaciones estructurales necesarias.

El acero de refuerzo será de las siguientes calidades :

A 44-28 H

A 63-42 H

Los recubrimientos mínimos serán de 3 cm.

Para las caras de hormigón que permanezcan en contacto con agua se exigirá un recubrimiento de 5 cm., medido entre borde y eje de la armadura

Cálculo de Hormigón armado con caras mojadas.-

Las estructuras de hormigón armado que están permanentemente en contacto con el agua deben ser impermeables, por lo cual no

podrán aceptar fisuras. Por esta razón el cálculo se hará en Fase I.

Cálculo de esfuerzos.-

Tracción $T = 0.6 * M/W \pm N/A$

Siendo:

M,N : solicitaciones de flexión y normal

W : Módulo de Flexión

A : Area

El factor 0.6 proviene de la desviación del diagrama lineal de tensiones.

La dualidad de signos (+ -) es según sea tracción o compresión vertical.

Para el cálculo de las armaduras se utilizará el método normal de acuerdo con los requerimientos de la norma.

Para el cálculo en Fase I, la tensión admisible para el hormigón en tracción será

$$0.5 * F_f$$

En donde :

F_f = tensión de fluencia del acero.

5.6.- FUNDACIONES.-

Generalidades.- Los diseños de las fundaciones de cualquier estructura, se harán de acuerdo con los requerimiento de la

mecánica de suelos para cada caso.

Las especificaciones que aquí se detallan, constituyen sólo un marco de referencia, que en todo caso no deberá ser usado sin considerar las características especiales de cada situación.

Tipos de suelos.- Los suelos a nivel general, se pueden clasificar en uno de los cinco tipos que se describen a continuación.

Suelo Tipo 1.- Rocas sanas o roca moderadamente agrietada cubierta por una capa de suelo tipo 2, 3 o 4 de no más 1.0 mt de espesor.

Suelo Tipo 2.- Roca muy agrietada, roca descompuesta muy firme, gravas o arenas densas limpias o con fino, pero cementada.

Suelo Tipo 3.- Grava con no más de 30% de fino (material que pasa por malla #200 U.S. standard), arenas limpias compactadas, arenas arcillosas firmes o duras.

Suelo Tipo 4.- Gravav sueltas, arenas limpias de densidad media o sueltas, arenas arcillosas o limosas de consistencia.

Suelo Tipo 5.- Arenas limosas sueltas, arenas limosas o arcillosas blandas, arcillas o limos blandos.

Si alguna Fundación debiera quedar fundada en suelo de muy baja capacidad de soporte (rellenos), será necesario hacer exploraciones para definir la capacidad de soporte del suelo y posteriormente efectuar el diseño de una fundación especial.

Tipos de fundaciones.-

Fundaciones normales.- Son aquellas fundaciones que quedarán apoyadas en algunos de los tipos descritos en estas especificaciones.

Este tipo de fundaciones serán de hormigón hecho en sitio y su diseño se resolverá compatibilizando los requerimientos de cargas con las tensiones y deformaciones del suelo.

En el extremo superior de las fundaciones deberá quedar a lo menos 20 cm. sobre la cota de terreno natural. Además en su parte superior deberá dársele pendiente para que no se acumule agua en torno al montante.

En el caso de estructuras importantes, la profundidad de enterramiento no podrá ser menor de 1,0 mt.

Diseño de las Fundaciones.-Los procedimiento de diseño y cálculo deberán considerar las condiciones de cargas con los distintos coeficientes de ponderación.

Para el cálculo de zapata poco profundas ($H/d < 1$), en las cuales no se considera la colaboración lateral del terreno, se evaluará la sollicitaciones a nivel basal (sello de fundación). A ese nivel se reciben acciones normales, de corte y flexión, que solicitan al suelo con diagramas de reacción basal.

Para las combinaciones normales, el diagrama, deberá ser trapecial con 100% de compresiones.

Para las combinaciones eventuales se aceptará diagramas doble triángulo con un máximo de 25% de tracción, debiendo verificarse esta acción en la zapata.

En todas las fundaciones se deberá verificar la estabilidad general referente a deslizamiento y volcamiento.

Los coeficientes serán como mínimo 2.5

En estos cálculos no se considerará la acción pasiva del suelo enterrado, sin embargo se le colocará una zarpa (diente), en la parte inferior para contar con seguridad adicional especialmente al deslizamiento.

Tensiones admisibles en suelo.-

De acuerdo a los tipos establecidos, las tensiones aceptadas serán las siguientes:

TIPO DE SUELO	TENSION ADMISIBLE (kg/cm ²)
1	15.0
2	5.0
3	3.0
4	1.5
5	1.0