

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



TITULO

**EQUIPO PARA DETERMINAR LA ORIENTACION
DEL FLUJO DE UN FLUIDO**

TESIS

Para optar el titulo profesional de:

INGENIERO CIVIL

VICTOR VALDIVIA MALPARTIDA

**Lima - Perú
1996**

INDICE

| | Pág. |
|---|------|
| - SUMARIO | 17 |
| - INTRODUCCION | 20 |
| - OBJETIVO | 24 |
| CAPITULO 1 CONCEPTOS BASICOS DE MECANICA DE FLUIDOS | 25 |
| 1.1 CONCEPTO DE FLUIDO | 26 |
| 1.2 PROPIEDADES FISICAS DE LOS FLUIDOS | 27 |
| 1.2.1 DENSIDAD | 28 |
| 1.2.2 PESO ESPECIFICO | 29 |
| 1.2.3 DENSIDAD RELATIVA O GRAVEDAD ESPECIFICA | 30 |
| 1.2.4 PRESION | 30 |

| | | |
|-------|---|----|
| 1.3 | CONCEPTOS DE FLUJO EN FLUIDOS | 31 |
| 1.3.1 | SISTEMA Y VOLUMEN DE CONTROL | 32 |
| 1.3.2 | ECUACION DE CONTINUIDAD | 33 |
| 1.3.3 | ECUACION DE BERNOULLI | 34 |
| 1.4 | TIPOS DE FLUJO | 34 |
| 1.5 | LAS CORRIENTES EN ESTRECHAMIENTOS, ENSANCHAMIENTOS Y CAMBIOS DE DIRECCION | 37 |
| | CAPITULO 2 LAS CORRIENTES EN EL FLUJO | 39 |
| 2.1 | LA DISTRIBUCION DE VELOCIDADES | 41 |
| 2.2 | FACTORES QUE PROVOCAN LOS CAMBIOS DE LA ORIENTACION DEL FLUJO | 50 |
| 2.3 | CONSECUENCIAS DE LOS CAMBIOS DE ORIENTACION | 55 |
| | CAPITULO 3 LOS AFOROS | 58 |
| 3.1 | METODOS PARA AFORAR | 59 |
| 3.2 | MEDICION DE VELOCIDAD Y GASTO CON CORRENTOMETRO | 70 |

| | | |
|--|--|----|
| 3.3 | CORRENTOMETRO TIPO GURLEY | 71 |
| 3.3.1 | DESCRIPCION DEL CORRENTOMETRO | 72 |
| 3.3.2 | OBTENCION DE LA VELOCIDAD CON EL EMPLEO DE CORRENTOMETRO | 74 |
| 3.3.3 | ESTIMACION DEL CAUDAL | 77 |
| 3.4 | SELECCION DE LAS SECCIONES DE AFORO | 80 |
| CAPITULO 4 MEDIDOR DE LA ORIENTACION DE LAS CORRIENTES | | 84 |
| 4.1 | DESCRIPCION DEL EQUIPO | 85 |
| 4.1.1 | DESCRIPCION DEL EQUIPO PARA SER EMPLEADO EN TRABAJOS DE ESCALA REAL | 85 |
| 4.1.2 | DESCRIPCION DEL EQUIPO PARA SER EMPLEADO EN TRABAJOS DE MODELOS HIDRAULICOS REDUCIDOS | 86 |
| 4.2 | MANEJO DEL EQUIPO | 88 |
| 4.3 | OBTENCION DE LA ORIENTACION CORRECTORA DEL FLUJO | 90 |
| 4.4 | CORRECCION DE LAS VELOCIDADES MEDIDAS CON CORRENTOMETRO | 92 |

| | |
|---|-----|
| CAPITULO 5 APLICACIONES DEL EQUIPO MEDIDOR DE ORIENTACION DE FLUJO | 94 |
| 5.1 APLICACION EN LA EVALUACION DEL DESARENADOR DE LA C.H. CAÑON DEL PATO | 94 |
| 5.1.1 UBICACION Y DESCRIPCION DE LA C.H. CAÑON DEL PATO | 95 |
| 5.1.2 EL DESARENADOR | 96 |
| 5.2 EL DESARENADOR DE LA C. H. CAÑON DEL PATO | 97 |
| 5.2.1 FACTORES QUE CAUSAN LA VARIACION DE LA ORIENTACION DEL FLUJO EN EL DESARENADOR DE LA C. H. CAÑON DEL PATO | 99 |
| 5.3 DETERMINACION DE LAS VELOCIDADES Y DESCARGAS EN EL DESARENADOR DE LA C.H. CAÑON DEL PATO. | 100 |
| 5.3.1 PLAN DE MEDICIONES | 101 |
| 5.3.2 DETERMINACION DE LAS VELOCIDADES | 102 |
| 5.3.3 DETERMINACION DE LOS CAUDALES | 103 |
| 5.4 CURVAS DE ISOVELOCIDADES | 107 |
| 5.5 DISTRIBUCION VERTICAL DE VELOCIDADES | 108 |

| | |
|---|-----|
| CAPITULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 110 |
| 6.1 CONCLUSIONES | 110 |
| 6.2 RECOMENDACIONES | 113 |
| - ANEXO | 114 |
| FOTOGRAFIAS | 115 |
| CUADROS | 125 |
| LAMINAS | 162 |
| - BIBLIOGRAFIA | 222 |

SUMARIO

Consciente de que la orientación del flujo altera las determinaciones de las velocidades y caudales, la presente Tesis tiene como objetivo fundamental experimentar la utilización de un equipo para determinar la orientación en horizontal del flujo cuando ésta pasa por una sección de medición con el fin de poder realizar la corrección de la velocidad.

Para lograr un estudio apropiado la presente investigación se ha organizado de la siguiente manera:

CAPITULO N° 1 En este capítulo se definen algunos conceptos relacionados con el tema, tales como: fluido, flujo, volumen de control, tipos de flujo, etc., asimismo se muestra un método práctico para determinar si una sustancia es un fluido o no. También se analiza el comportamiento de las líneas de corriente en los casos de estrechamientos, ensanchamientos y cambios de dirección.

CAPITULO N° 2 En este capítulo se estudia el comportamiento de las líneas de corriente así como la distribución de velocidades en las secciones transversales y longitudinales de un canal, de igual modo se verá la importancia que existe en las condiciones del entorno de las secciones de medición para tales distribuciones, pues basta una modificación de ellas para alterar los resultados sobre todo en la orientación del flujo, lo que podría llevarnos a cometer errores en la estimación del gasto que fluye por una determinada sección de medición.

CAPITULO N° 3 En este capítulo se estudiará los diferentes métodos que existen para la medición de caudales en conductos abiertos que comúnmente se denominan aforos, tales como: Tubo de Pitot, Vertederos, Flotadores, Concentración de Sales o Radioisótopos y Correntómetro. En la presente investigación se utilizó el correntómetro tipo Gurley para la determinación indirecta del caudal, por ser éste práctico y fácil de realizar en cualquier medio, por ello se detallará en este capítulo el manejo de este equipo y la forma de obtener el caudal; también se mencionará algunos criterios para seleccionar una sección de aforo con el fin de disminuir los errores en la estimación del caudal.

CAPITULO N° 4 En este capítulo se estudiará al equipo medidor de la orientación de las corrientes, que ha sido diseñado y construido para determinar los coeficientes de corrección con los que se debe afectar a la velocidad que presente una orientación respecto a la normal de la sección de aforo, para lo cual se describe al equipo, el manipuleo del mismo, la forma de obtener la orientación correctora del flujo y el procedimiento para corregir las velocidades.

CAPITULO N° 5 En este capítulo se realiza una aplicación del equipo medidor de la orientación del flujo en el trabajo de evaluación de la eficiencia del Desarenador de la C. H. Cañón del Pato, que se llevó a cabo en el mes de Junio de 1993. El resultado final indica que la masa fluida no ingresa ni sale normal a las secciones de aforo establecidas en el desarenador, lo que obligó a realizar las correcciones de los gastos en un 34.5% y 37.5% al ingreso y salida respectivamente.

CAPITULO N° 6 En este capítulo se concluye que el equipo medidor de las orientaciones de un flujo sí logra determinar las orientaciones y proporciona la información suficiente para corregir las mediciones de velocidades y caudales.

INTRODUCCION

Desde los primeros cursos que se imparten en el área de Hidráulica e Hidrología de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, nuestros profesores nos hicieron conocer el fenómeno del ciclo hidrológico, fenómeno que se presenta como consecuencia de la radiación solar, temperatura del aire y el viento, con estos factores las aguas de los mares como el Océano Pacífico y el Atlántico, de los ríos, lagos, del suelo, las plantas y de la precipitación misma se evaporan y ascienden a la atmósfera, y cuando se acumulan forman las nubes que por la acción de las corrientes de aire son conducidas a la parte andina de nuestro territorio y cuando llegan por causa de la variación de la temperatura, altura y presión descienden nuevamente, ya sea en forma de lluvia, granizo o nieve que al ser descongeladas, forman los riachuelos que dan origen a los grandes ríos como son el Amazonas, Marañón, Ucayali, Huallaga, Piura, Tumbes, Santa, Rímac, etc.

Es conocido que el mayor porcentaje del agua precipitada es derivada a la cuenca Oriental, la cual desemboca en el Océano Atlántico mientras que un bajo porcentaje a la cuenca Occidental que finalmente desemboca en el Océano Pacífico. Debido a esta relativa escasez y a la gran necesidad que existe por este elemental líquido en esta última vertiente, ya que existe los problemas de abastecimiento de agua potable, irrigación y aprovechamiento hidroeléctrico, la ingeniería hidráulica se ve en la necesidad de realizar estudios más precisos para sacar el mayor provecho de ellas, para este fin se realizan entre otros estudios los geológicos, topográficos, sísmicos, de transporte de sedimentos e hidrológicos.

El estudio hidrológico sirve básicamente para conocer la cantidad de agua que se precipita en la cuenca y por consiguiente la descarga de los ríos.

Para la medición de estas descargas de los cursos de las aguas superficiales y de acuerdo a la forma y magnitud que presenta el flujo se emplean los vertederos sea del tipo triangular, rectangular o trapezoidal, flotadores, correntómetros y trazadores como soluciones salinas o emisión de radioisótopos.

La presente investigación trata del empleo de los correntómetros tipo Gurley, que son prácticos, fáciles de utilizar en cualquier lugar y asimismo no son contaminantes.

En el mes de Febrero y Junio de 1993, se realizó un trabajo de investigación de campo que tenía como objetivo evaluar la eficiencia del funcionamiento del Desarenador de la Central Hidroeléctrica del Cañón del Pato, ubicada en el Distrito de Huallanca, Provincia de Huaylas, Departamento de Ancash. Al realizar las mediciones de campo se pudo apreciar que el ingreso de las aguas al desarenador mostraba corrientes superficiales no ortogonales a la transversal de medición y en algunas zonas se observaban hasta contracorrientes que afectaban las mediciones de las velocidades de ingreso a las naves del desarenador y por consiguiente a los valores de las descargas.

Los trabajos actuales en lo referente a la estimación de caudales con correntómetro, que se orienta en la dirección de la corriente, consideran que las líneas de los vectores velocidad son ortogonales a la sección de medición, aunque por diferentes causas esto no ocurre así; como es en el Desarenador de la Central Hidroeléctrica del Cañón del Pato. Estas variaciones de las orientaciones del flujo conllevan a cometer errores en los registros de las velocidades que pueden variar en el rango del 0% a 200%.

Para corregir los registros obtenidos con el correntómetro, se diseñó un equipo que determina la orientación del flujo. Con la información que nos proporciona este equipo se pudo corregir la velocidad registrada y por consiguiente el caudal en los estudios de la Evaluación del Funcionamiento del Desarenador de la Central Hidroeléctrica del Cañón del Pato, teniendo en cuenta

las descargas medidas a partir de la energía generada en la Casa de Máquinas, los cuales tuvieron valores de 34.5% respecto al caudal sin corregir en el ingreso de las naves del desarenador y de 37.5% a las salida del mismo, evitándose de esta manera que se cometiera graves errores en las mediciones.

Este nuevo equipo trabaja como complemento del correntómetro; puede ser empleado tanto en trabajos de prototipo como de modelos hidráulicos reducidos, como este equipo registra la orientación que experimenta el flujo, es decir, el ángulo respecto a la línea ortogonal de la sección de medición y, debido a que este parámetro es adimensional, no se tiene la necesidad de practicar correcciones por efectos de escala al dato registrado en el caso que se esté trabajando en modelos hidráulicos reducidos.

OBJETIVO

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo fundamental experimentar la utilización de un equipo para determinar la orientación del flujo de una corriente cuando ésta pasa por una sección de medición, con el fin de poder realizar la corrección de la velocidad en horizontal, proyectándola normal a la sección de aforo y así eliminar esta fuente de error.

CAPITULO 1

CONCEPTOS BASICOS DE MECANICA DE FLUIDOS

1.1 CONCEPTO DE FLUIDO

El fluido es una sustancia que se deforma cuando es sometido a esfuerzos cortantes, aún cuando estos sean pequeños.

Una forma práctica para determinar si una sustancia es un fluido o no, es colocando dicha sustancia entre dos placas paralelas separadas una distancia pequeña, si una de

ellas es fija y a la otra se le aplica una fuerza F , de tal manera que se genere un esfuerzo cortante F/S , donde S es el área de la placa móvil; si la placa se mueve a una velocidad uniforme "U" diferente de cero, se concluye que la sustancia entre las placas es un fluido, ya que ésta se deforma a pesar de ser sometida a un pequeño esfuerzo cortante, permitiendo de esta manera el desplazamiento de la placa. Ver Figura N° 1.1.

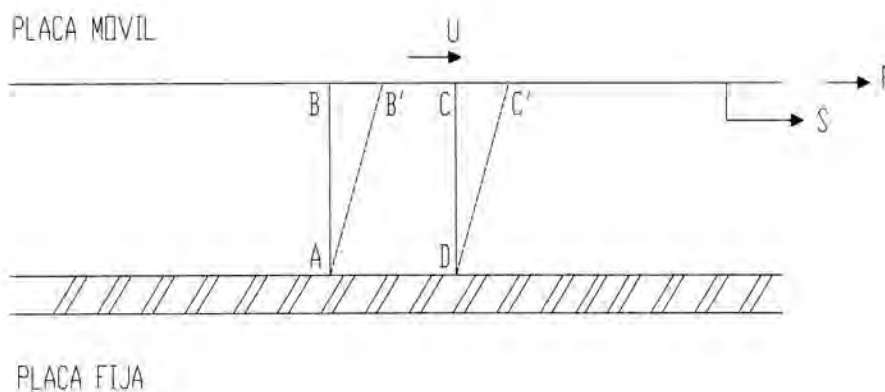


Figura N° 1.1

El fluido en contacto inmediato con una frontera sólida tiene la misma velocidad que la frontera, es decir, no existe deslizamiento en la frontera. Este es un hecho experimental que ha sido verificado en un sinnúmero de pruebas con varias clases de fluidos y materiales de frontera.

En forma práctica, cuando F es cero los puntos A , B y C , D de un área de fluido estarán ubicadas en su respectiva vertical (Ver Figura N° 1.1), cuando F es diferente de cero y la placa se desplaza uniformemente tal que los puntos B y C fluyen a B' y C' respectivamente, de tal manera que la nueva área del fluido es $A B' C' D$, dicha modificación de posición será para cada partícula del fluido. El área en mención conforme se mueva la placa variará su velocidad de forma uniforme desde cero en la placa estacionaria hasta " U " en la placa móvil. En cambio este fenómeno no ocurre con los plásticos y sólidos, ya que ambos materiales necesitan un esfuerzo cortante mayor al del esfuerzo de cedencia de dicho material para poder iniciar su deformación, además dicha deformación no será continua, pues se detendrá cuando el sólido falle por corte.

1.2 PROPIEDADES FISICAS DE LOS FLUIDOS

Toda la materia que existe en nuestro planeta está dividida en dos estados, el sólido y el fluido; a su vez esta última se divide en los estados líquido y gaseoso.

La diferencia que existe entre los líquidos y los gases está dada en que las fuerzas intermoleculares de cohesión son mayores en los líquidos que en los gases; debido a este fenómeno las moléculas de los líquidos se mueven libremente dentro de su propia masa, mientras que los gases tienen la capacidad de llenar completamente el recipiente que los contiene.

Como se dijo anteriormente, los fluidos tienen la característica de no resistir los esfuerzos cortantes, por lo que tienen la habilidad de cambiar su forma o de fluir. Otras de las propiedades físicas que se pueden mencionar de los fluidos son:

1.2.1 DENSIDAD

La Densidad (ρ) de un fluido se define como su masa por unidad de volumen. Cuando el agua está sometida a una presión estándar de 760 mmHg y 5°C, la densidad será de 1000 Kg/m³. Para otras temperaturas se muestran las densidades del agua en la Tabla N° 1.2.1.

TABLA N° 1.2.1

| TEMPERATURA °C | PESO ESPECIFICO Newton/m³ | DENSIDAD Kg/m³ |
|---------------------------|---|--------------------------------------|
| 0 | 9806 | 999.90 |
| 5 | 9807 | 1000.00 |
| 10 | 9804 | 999.70 |
| 15 | 9798 | 999.10 |
| 20 | 9789 | 998.20 |
| 25 | 9778 | 997.10 |
| 30 | 9764 | 995.70 |
| 35 | 9749 | 994.10 |
| 40 | 9730 | 992.20 |
| 45 | 9711 | 990.20 |
| 50 | 9690 | 988.10 |
| 55 | 9666 | 985.70 |
| 60 | 9642 | 983.20 |
| 65 | 9616 | 980.60 |
| 70 | 9589 | 977.80 |
| 75 | 9560 | 974.90 |
| 80 | 9530 | 971.80 |
| 85 | 9499 | 968.60 |
| 90 | 9466 | 965.30 |
| 95 | 9433 | 961.90 |
| 100 | 9399 | 958.40 |

1.2.2 PESO ESPECIFICO

Se define el peso específico (γ) de una sustancia como su peso por unidad de volumen. Este valor varía de acuerdo al lugar donde se encuentre la sustancia, por consiguiente su valor se le puede relacionar de la siguiente manera:

$$\gamma = \rho * g$$

1.2.3 DENSIDAD RELATIVA O GRAVEDAD ESPECIFICA (g.e)

El concepto de la Densidad Relativa está referida a la razón del peso de la sustancia en estudio al peso de un volumen igual de agua pura en condiciones estándar. Todas las propiedades mencionadas anteriormente varían con la temperatura, por lo que deberá determinarse este valor para iniciar los cálculos.

1.2.4 PRESION

La presión se define como la relación que existe entre una fuerza normal que presiona contra un área plana y dicha área. Se le expresa de la siguiente manera:

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Donde: P = Presión

F = Fuerza aplicada

A = Area donde se aplica la Fuerza (F)

o también se le puede expresar en términos de altura equivalente de una columna de fluido.

$$P = \gamma * h \dots\dots\dots(2)$$

Donde: P = Presión

γ = Peso específico del fluido

h = Altura referida entre la superficie y el punto de medición

1.3 CONCEPTOS DE FLUJO EN FLUIDOS

La naturaleza del flujo de un fluido real es muy compleja, ya que las leyes básicas que describen el movimiento completo de un fluido no se formulan ni se resuelven, salvo en casos simplificados desde el punto de vista matemático, por lo que se requiere el recurso de la experimentación.

El conocimiento más preciso del flujo de un fluido está relacionado con la descripción del campo de velocidades y con el movimiento y cambios que sufre una masa de fluido.

El presente tema de investigación está basado en la teoría de flujo unidimensional, la cual se analiza con las ecuaciones básicas que permiten predecir el comportamiento del fluido; las ecuaciones fundamentales son: la ecuación de continuidad, la ecuación de energía y de cantidad de movimiento; para poder precisar estas ecuaciones es necesario considerar el concepto de volumen de control.

Para la presente investigación se considera únicamente la aplicación de la ecuación de continuidad.

1.3.1 SISTEMA Y VOLUMEN DE CONTROL

Volumen de Control es una región en el espacio delimitado por superficies imaginarias, que por lo general se hacen coincidir con superficies sólidas; a su vez estas superficies deberán presentar áreas de ingreso y de salida para el fluido en movimiento; con la finalidad de realizar simplificaciones en los cálculos posteriores, se eligen aquellas superficies, que son normales a los vectores velocidad.

La frontera de un volumen de control es su superficie de control. El tamaño y forma del volumen son totalmente arbitrarios. El concepto de volumen de control es empleado en la derivación de las ecuaciones de continuidad, energía y cantidad de movimiento.

1.3.2 ECUACION DE CONTINUIDAD

La continuidad se presenta cuando la variación de la masa de un fluido en movimiento, en un tiempo t , dentro de un volumen de control es cero; cuando el flujo es incompresible y permanente se establece el principio de la conservación de la masa, en otras palabras el caudal de ingreso es igual al caudal que sale. Ver Figura N° 1.3.2.

Definiendo el caudal como el producto de la velocidad normal a la sección de aforo por el área de dicha sección, se puede expresar:

$$Q = A_1 * V_1 = A_2 * V_2$$

Donde: Q = Caudal o gasto

A, V = Area y Velocidad en la sección de medición

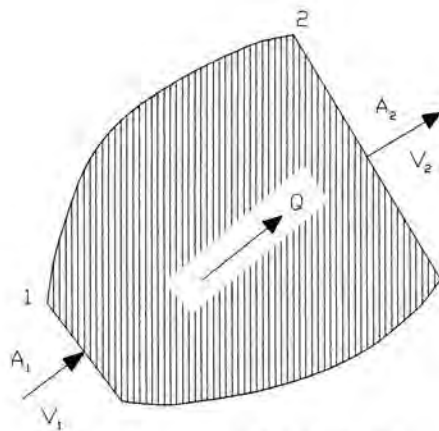


Figura N° 1.3.2

1.3.3 ECUACION DE BERNOULLI

Cuando el fluido es incompresible, con régimen permanente y no presenta fricción, la Ecuación de Bernoulli es aplicable entre los puntos de una misma línea de corriente, que estén ubicados en las secciones de medición, y ésta es expresada como:

$$z + \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} = \text{Constante}$$

1.4 TIPOS DE FLUJO

El movimiento del agua se puede clasificar básicamente en turbulento o laminar, permanente o transitorio y en uniforme o variado.

Flujo

Turbulento.- Es el que más se presenta en la naturaleza. Se caracteriza porque las partículas del fluido se mueven en trayectorias muy irregulares que causan un intercambio de cantidad de movimiento de una porción del fluido a otra; este tipo de flujo establece mayores esfuerzos cortantes en todo el

fluido y genera más pérdidas de carga. En principio se puede considerar que hay flujo turbulento cuando el movimiento del fluido alcanza valores del Número de Reynolds superiores a los 4000.

Flujo

Laminar.-

En este tipo de flujo, el fluido se desplaza a lo largo de trayectorias relativamente paralelas, como láminas o capas. Se presenta esencialmente cuando el movimiento tiene valores del Número de Reynolds menores de los 2000.

Flujo

Transitorio.-

El flujo transitorio como su nombre lo indica, es el estado de transición del flujo laminar al turbulento o viceversa, cuando el movimiento del fluido presenta valores del Número de Reynolds comprendido entre los 2000 y 4000 se dice que es un flujo transitorio.

Flujo

Permanente.- Cuando se analiza el campo de velocidades de una sección cualquiera y las mismas no cambian con el tiempo, entonces decimos que estamos en la presencia de un flujo permanente.

Flujo

Uniforme.- Cuando las características de velocidades y aceleraciones permanecen iguales a lo largo del movimiento (caso teórico), estamos en la presencia de un flujo uniforme.

En un flujo bidimensional, se supone que todas las partículas fluyen en planos paralelos a lo largo de la trayectoria principal; de aquí que no haya cambios en el flujo normal a estos planos, por lo tanto se considera que no existen variaciones o cambios en la velocidades, presiones y temperaturas, transversales a la dirección del flujo principal. Las condiciones en una sección transversal se expresan en términos de los valores promedio de velocidad, densidad y de otras propiedades.

1.5 LAS CORRIENTES EN ESTRECHAMIENTOS, ENSANCHAMIENTOS Y CAMBIOS DE DIRECCION

Las líneas de corriente de un fluido dependen básicamente de las características físicas del cauce como de la rugosidad, de la forma geométrica de la sección, así como de las condiciones de aguas arriba como de aguas abajo de la sección de medición del flujo.

En tramos con recorridos rectos en una longitud tal que no perturbe el desplazamiento del fluido, la distribución de las velocidades tanto en sentido horizontal como en el vertical se ajustan a una curva exponencial (ver Figura N° 2.1.5 y 2.1.6).

Cuando se presenta alguna variación a lo largo de la longitud del canal, como es el caso de un estrechamiento, ensanchamiento o cambio de dirección brusca o moderada la distribución de la velocidad en la sección cercana a dichos cambios se ve alterada respecto a la curva representativa de un tramo recto.

En el caso particular, que se produjera un ensanchamiento o un estrechamiento, el fluido tratará de distribuirse de tal manera que logre adecuarse a la nueva sección, es decir, la orientación promedio del vector velocidad tratará de tomar la dirección de las paredes de la nueva sección del canal, originando de esta manera un

tramo de adaptación y variaciones en la orientación del flujo (ver las Figuras N° 2.2.1.a y 2.2.2.a).

Cuando se produce un cambio de dirección moderada la distribución de velocidades se verá afectada, asimismo para mantener las condiciones de continuidad existirá una mayor velocidad por el lado convexo de la curva y una de menor velocidad por el lado cóncavo, además de corrientes internas ver Figura N° 2.1.9 y 2.1.10; en este caso el vector velocidad seguirá una dirección ortogonal al radio de la curva que une su centro con la prolongación de la sección de medición.

En todos los casos de cambio de dirección brusca las partículas por los efectos de la inercia tratarán de seguir la dirección del eje del primer canal, pero por los efectos de las paredes del nuevo canal estas se verán afectadas en la orientación de su desplazamiento hasta adecuarse al nuevo eje; el comportamiento de las líneas de corriente en este caso dependerá del ángulo de cambio de dirección y de la magnitud de la velocidad del fluido.

CAPITULO 2

LAS CORRIENTES EN EL FLUJO

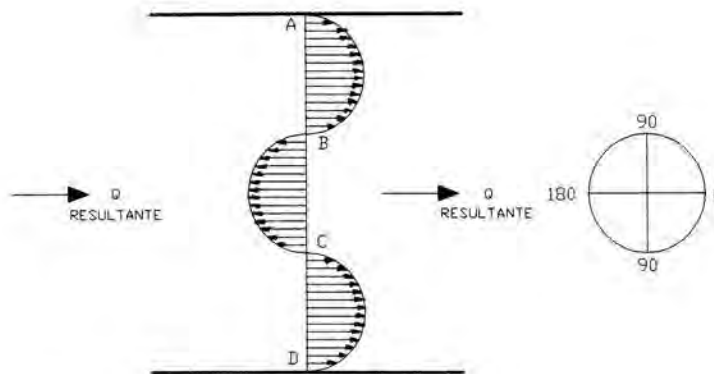
Las corrientes que se presentan en los flujos de los fluidos tienen velocidades y aceleraciones que están caracterizados por la magnitud, dirección y sentido.

Si la dirección de la velocidad de un fluido, tuviera una desviación respecto a la normal de la sección de aforo (ver Figura N° 4.4.1), qué ocurriría? Hasta antes de plantearse esta interrogante, las mediciones se realizaban asumiendo que la dirección de la velocidad es ortogonal a la sección de medición, es decir, sólo se cuantificaba la magnitud de la velocidad sin medir la orientación que tiene el flujo. En otras palabras, se descartaba esta posibilidad y al no considerarla se asume que no afectará los cálculos, que posteriormente deben realizarse; esta omisión puede llevar a cometer errores apreciables, pues basta una simple desviación en la dirección del movimiento del flujo para que no se estén midiendo las velocidades normales a la sección de medición y por lo tanto obteniéndose valores errados de la magnitud de la descarga neta aforada.

El presente estudio busca establecer, que la cantidad de masa fluida que ingresa en una sección de medición se ve alterada (aumentada), con los actuales métodos de medición en donde sólo interesa conocer la magnitud de la velocidad y se desestima a la orientación que ella presenta; cuando el ángulo de desvío es menor a los 90° , se demostrará que la velocidad normal de ingreso es menor a la registrada con el correntómetro; y cuando el ángulo es mayor de los 90° , que sería el caso de un flujo en contracorriente, que físicamente significaría que el agua mas bien estaría saliendo de la sección de aforo, en ambos casos si no se procede a la medición de la orientación del flujo el error que se estaría cometiendo es el de aumentar el gasto aforado.

La Figura N° 2.1 muestra la distribución de velocidades en un caso hipotético de un flujo con ángulo de desvío respecto a la línea normal de una sección de aforo, las orientaciones corresponden a un promedio de varias de ellas, pues en la naturaleza sus valores son fluctuantes en el tiempo. Como puede apreciarse en el ejemplo, en los tramos AB y CD el flujo sigue una dirección que variaría de 0° a 90° con relación al movimiento resultante, mientras que en el tramo BC se presentaría un flujo en contracorriente, es decir, que el ángulo de desvío de la corriente con relación al movimiento resultante variaría de 90° a 180° y en los puntos B y C se presenta el caso particular de velocidades instantáneas con una orientación de 90° respecto a la normal de la sección de medición, en este caso el flujo para ese instante estaría desplazándose paralelamente a la sección antes mencionada, por lo que se le considera como velocidad nula

para su área de influencia, cabe destacar que este hecho no es permanente puesto que el movimiento de las partículas del fluido se encuentran variando constantemente en su orientación.



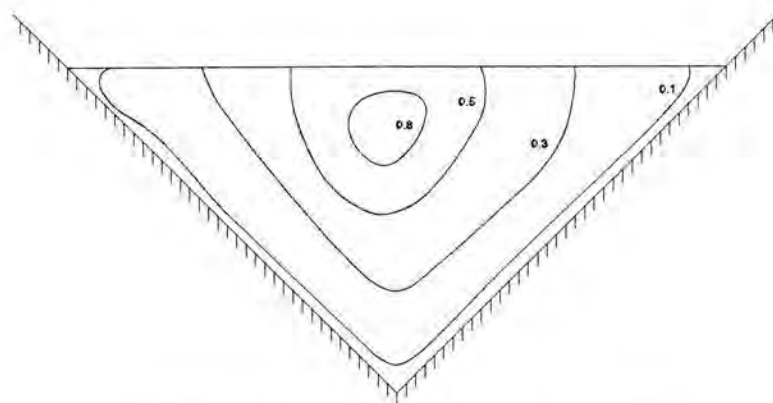
DISTRIBUCION EN PLANTA DE VELOCIDAD
 COMO CONSECUENCIA DE LA ORIENTACION DEL FLUJO

Figura N° 2.1

2.1 LA DISTRIBUCION DE VELOCIDADES

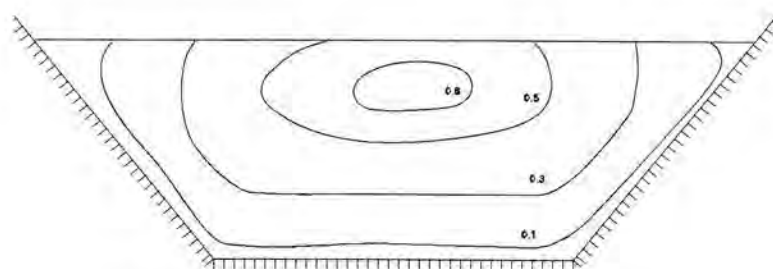
Las velocidades varían horizontalmente y verticalmente dado que en los fluidos no es uniforme la velocidad en lo referente a su magnitud y sentido en una sección cualquiera de medición, este fenómeno ocurre por las influencias que tiene el flujo de la superficie libre y de la existencia de la fricción, que son debidas a la rugosidad que tienen las paredes del conducto por donde circula la masa fluida, generándose de esta manera una distribución no uniforme de las velocidades.

La distribución de velocidades más comunes que se presentan en los canales de diferentes secciones se presentan en las Figuras N° 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3 y 2.1.4



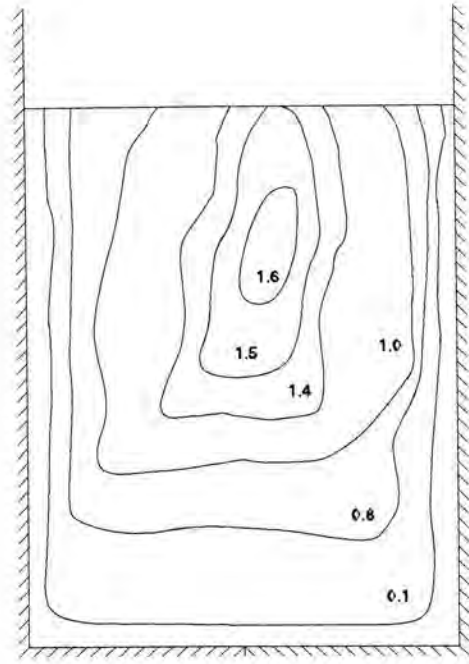
CANAL DE SECCION TRIANGULAR

Figura N° 2.1.1



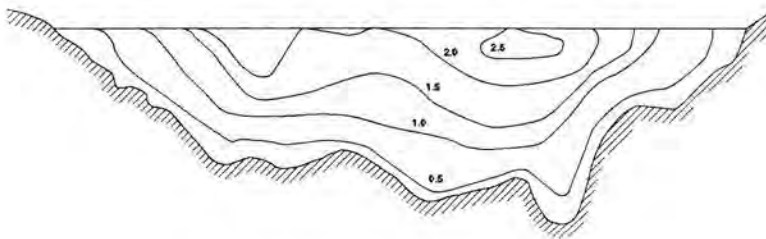
CANAL DE SECCION TRAPEZOIDAL

Figura N° 2.1.2



CANAL DE SECCION RECTANGULAR

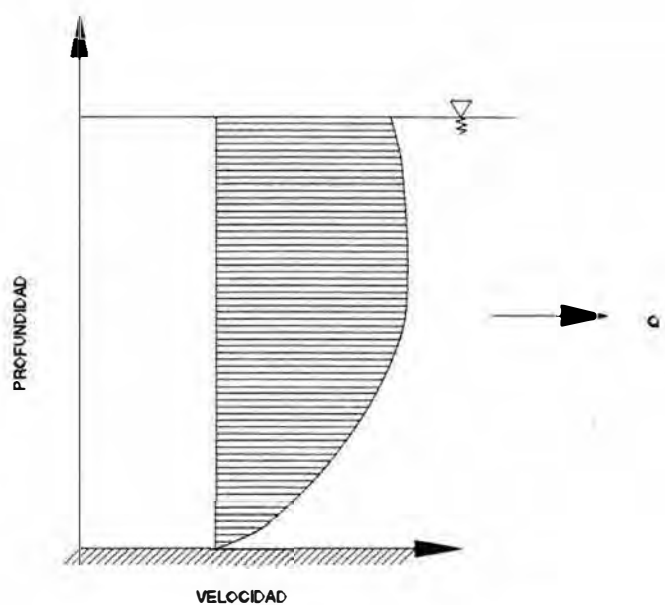
Figura N° 2.1.3



CANAL NATURAL IRREGULAR

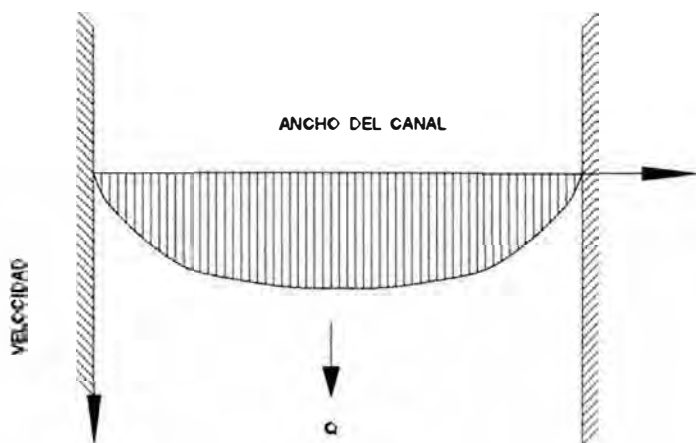
Figura N° 2.1.4

Al realizar un corte transversal vertical y otro horizontal se obtiene como resultado las siguientes distribuciones típicas de las velocidades originadas por la fricción en las paredes y el fondo, ver Figuras N° 2.1.5 y 2.1.6.



PERFIL VERTICAL DE LA DISTRIBUCION DE VELOCIDAD
(TEORICO)

Figura N° 2.1.5



PERFIL HORIZONTAL DE LA DISTRIBUCION DE VELOCIDAD
(TEORICO)

Figura N° 2.1.6

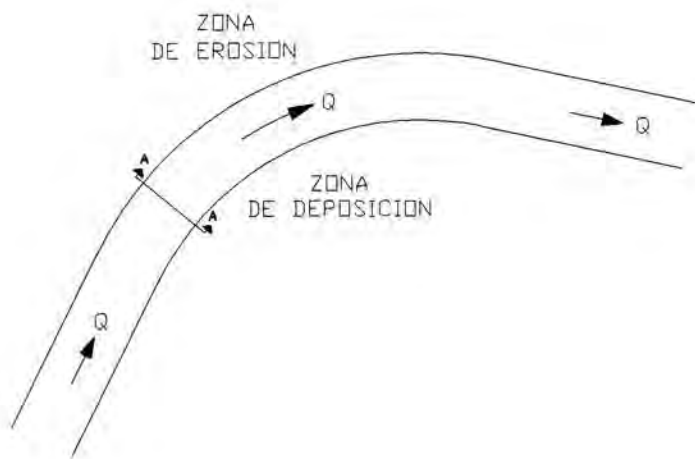
La distribución de velocidades mostradas en las dos últimas figuras están referidas a casos netamente teóricos, en donde las superficies transversales del conducto no varían de tramo en tramo y considerando que el conducto es totalmente recto en el tramo en estudio tanto aguas arriba como aguas abajo de la sección de medición.

Como podrá observarse las velocidades van variando en su distribución ya sea verticalmente u horizontalmente. En la distribución vertical se aprecia que existe una velocidad nula en el fondo del canal y va aumentando siguiendo una trayectoria correspondiente a una curva exponencial (parabólica en el caso que sea un flujo laminar), en planta se aprecia que en las paredes laterales la velocidad es nula, por efecto de las paredes del canal y las velocidades van aumentando su valor siguiendo el trazo de una curva exponencial hasta alcanzar su máximo valor en la parte central. Estas figuras representan a la distribución de velocidades de casos teóricos pues en la naturaleza existen variables que modifican dicho comportamiento.

La distribución de las velocidades en una determinada sección también dependen de la magnitud de la rugosidad del canal, de las variaciones geométricas de las secciones transversales a lo largo del canal de conducción y de la presencia de cambios de dirección (ejm. curvas), en el caso de que las rugosidades del lecho se vean incrementadas da

como resultado, que la curva de distribución de velocidades que se relaciona con la profundidad también se pronuncie más (deformación de la curva teórica).

Cuando existe una curva en el trayecto, la velocidad se ve aumentada por el lado convexo, debido a la acción de la fuerza centrífuga que actúa en el fluido, originando de esta manera una mayor concentración de velocidades en ese sector, luego ira disminuyendo conforme se aproxime a la parte cóncava, como consecuencia de esto, se producirá una elevación del nivel del fluido en la parte externa de la curva y una disminución en la zona interna. Para que consiga su equilibrio de continuidad, el flujo en este caso, producirá un movimiento rotacional en las secciones transversales de la curva, la rotación será ascendente en la parte externa y descendente en la interna, ocasionando de esta manera la erosión en la parte externa del canal y sedimentación en la interna, este hecho puede comprobarse en los meandros de los ríos selváticos, ver Figuras N° 2.1.7, 2.1.8, 2.1.9 y 2.1.10.



FLUJO EN CURVAS

Figura N° 2.1.7

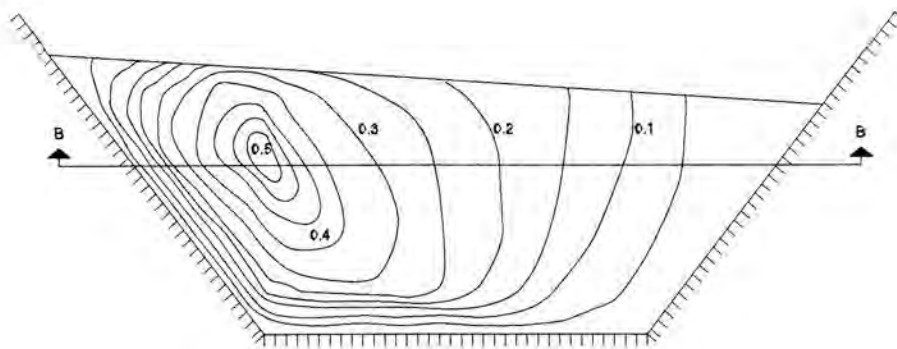
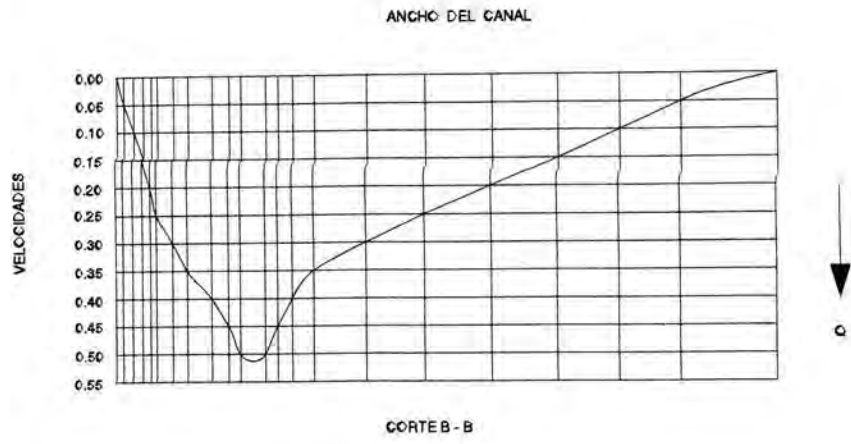
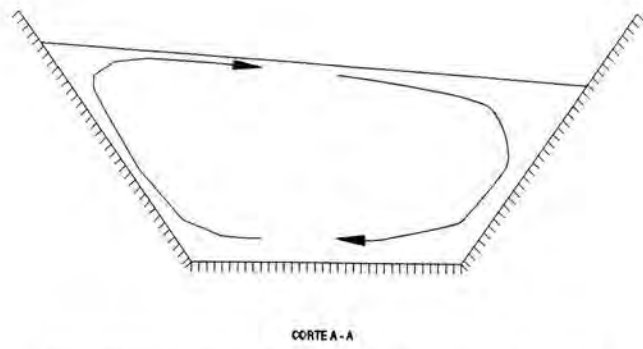


Figura N° 2.1.8



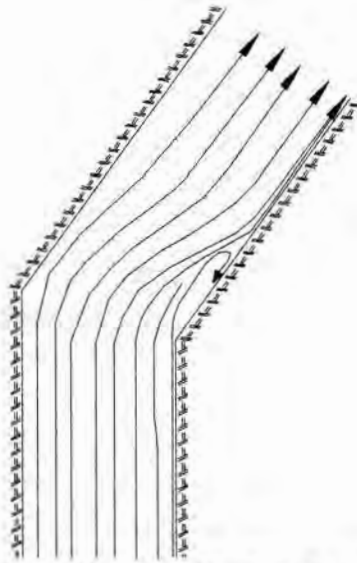
PERFIL HORIZONTAL DE LA DISTRIBUCION DE VELOCIDADES
EN UN TRAMO CURVO

Figura N° 2.1.9



ESQUEMA DE LA ROTACION DE UN
FLUJO EN UNA SECCION TRANSVERSAL
DE UNA CURVA
Figura N° 2.1.10

En cambio, si la variación de la dirección fuera brusca, el fluido tratará de seguir la dirección primitiva del primer canal debido a la inercia de sus partículas, originando de esta manera un choque con las paredes del nuevo canal, creándose de esta manera flujos en diferentes direcciones en la zona de cambio hasta que finalmente el flujo se oriente a su nueva dirección, ver Figura N° 2.1.11. Estas alteraciones de las orientaciones del flujo se verán incrementadas o disminuidas de acuerdo a la pendiente del canal, ángulo de cambio en los ejes de los canales, forma de las paredes del canal, así como de la velocidad que se presente en el fluido.



LINEAS DE CORRIENTE EN CAMBIOS
BRUSCO DE DIRECCION

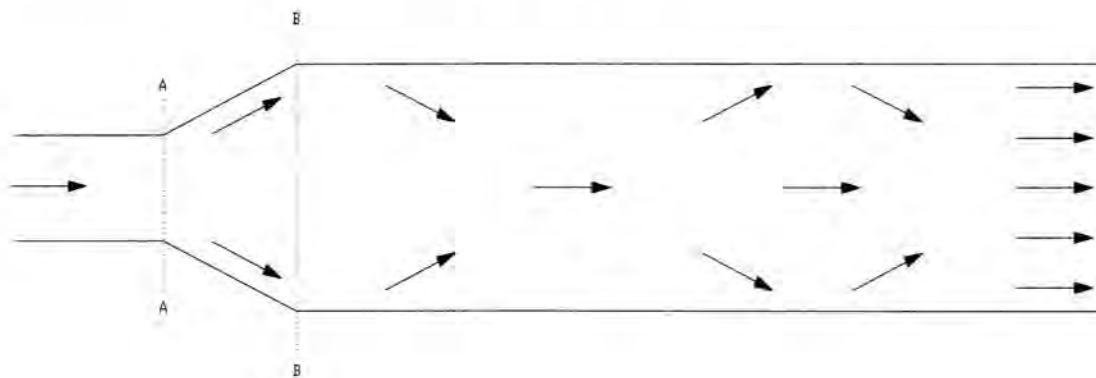
Figura N° 2.1.11

2.2 FACTORES QUE PROVOCAN LOS CAMBIOS DE LA ORIENTACION DEL FLUJO

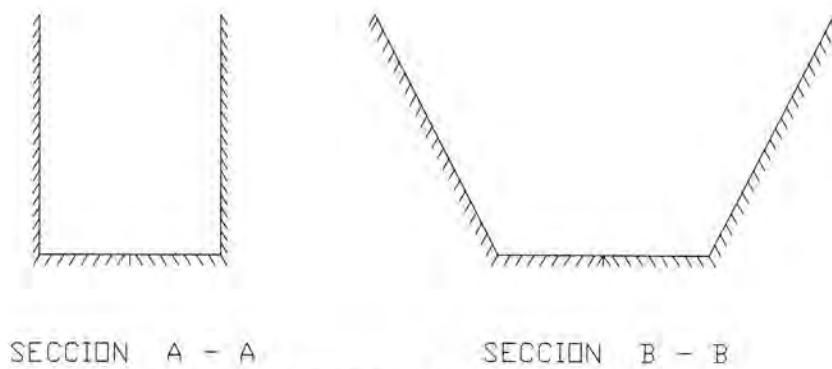
El flujo en un canal que presente secciones geométricas que no varían mucho una de la otra, a lo largo del mismo eje y con una longitud suficientemente recta, no provocarán cambios significativos en su orientación; pero en la naturaleza no se cumple con esas condiciones, provocándose de esta manera una alteración continua en la orientación del flujo, la cual alterará los resultados de cualquier medición de velocidades, gastos y concentraciones de sólidos.

Entre los factores que provocan los cambios de orientación de un flujo tenemos los referidos a los cambios bruscos o moderados de la dirección de un canal, un ejemplo típico son las producidas en las curvas, ver Figura N° 2.1.7, 2.1.8, 2.1.9 y 2.1.10; al ingreso o salida de secciones, que presentan diferentes secciones geométricas, éstas pueden ser convergente o divergente, ver Figura N° 2.2.1.a, 2.2.1.b, 2.2.2.a y 2.2.2.b; los debidos a la presencia de cuerpos extraños en una determinada sección, ver Figura N° 2.2.3.a y 2.2.3.b, un ejemplo a citar son las gradas (elemento hidráulico empleado para disminuir la velocidad del fluido); en la convergencia de dos o más flujos en uno solo o, en la divergencia de un flujo en dos o más ramales, ver Figura N° 2.2.4; en los saltos hidráulicos (estructura que disipa la energía), ver Figura

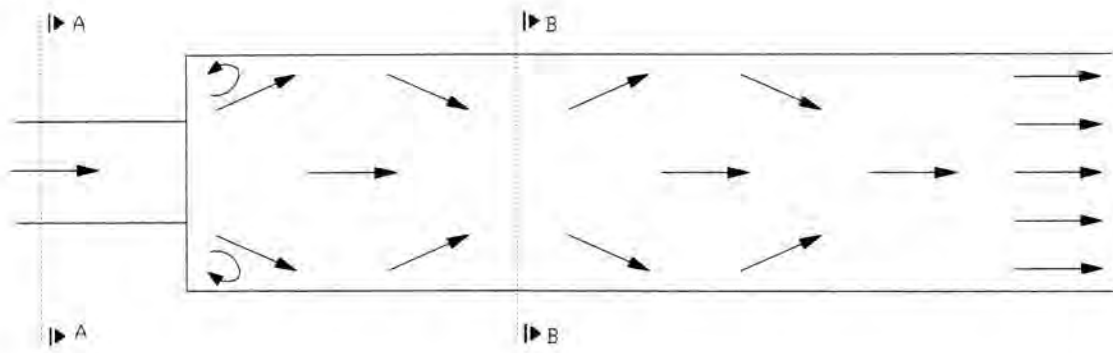
N° 2.2.5; en algunas zonas cercanas a la desembocadura de un río en el mar, donde las características tanto de los niveles de las aguas del mar, el río y el terreno provocan en forma simultánea un flujo de penetración del mar hacia el continente y de evacuación del río hacia el océano, en este caso habrá la presencia de flujos con orientaciones diferentes, ver Figura N° 2.2.6.



CAMBIO DE SECCION MODERADA
Figura N° 2.2.1.a



SECCION A - A SECCION B - B
Figura N° 2.2.1.b



CAMBIO DE SECCION BRUSCA
 CON SUS RESPECTIVAS LINEAS DE FLUJO

Figura N° 2.2.2..a

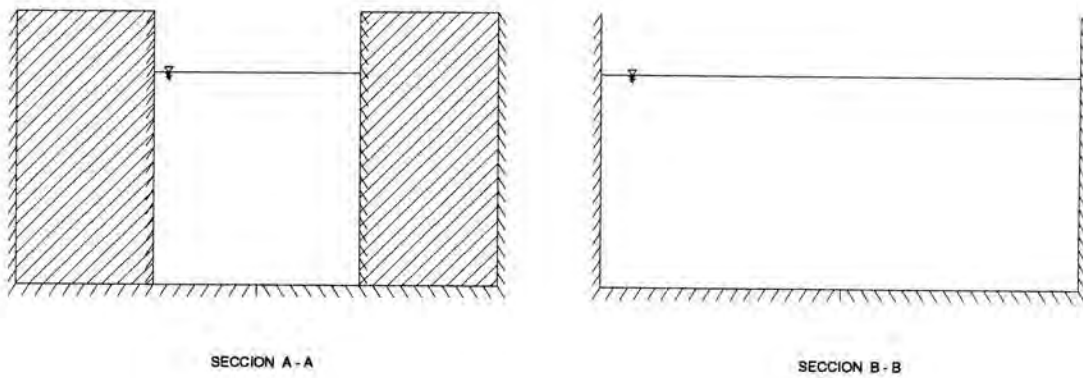
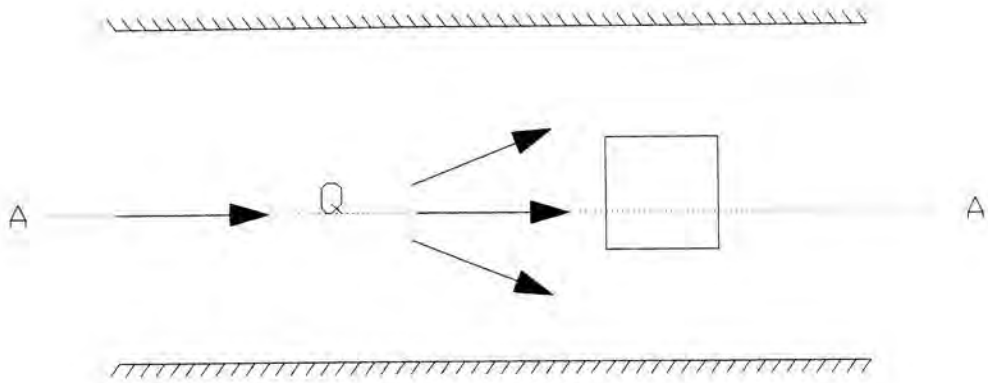


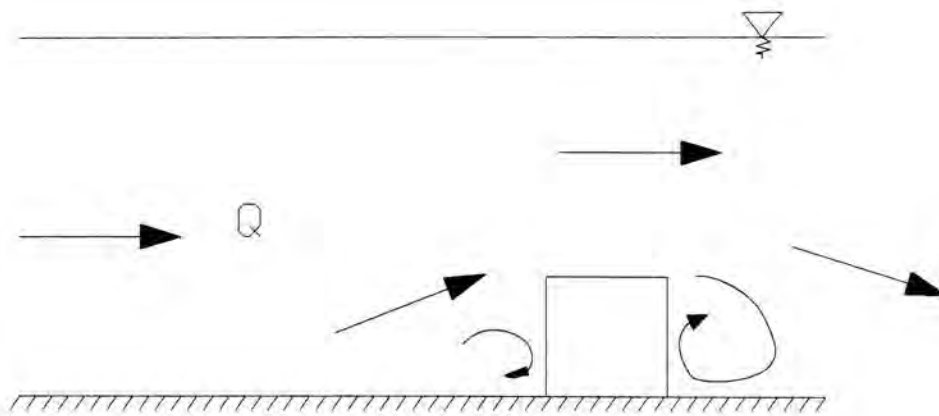
Figura N° 2.2.2.b



LINEAS DE FLUJO POR EFECTO DE UNA GRADA

(PLANTA)

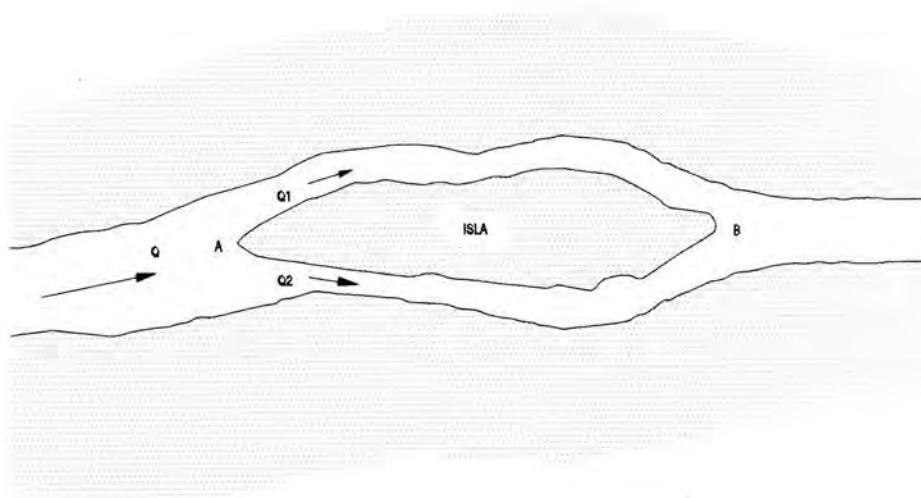
Figura N° 2.2.3.a



LINEAS DE FLUJO POR DE UNA GRADA

(CORTE A-A)

Figura N° 2.2.3.b



FLUJO DIVERGENTE Y CONVERGENTE

Figura N° 2.2.4

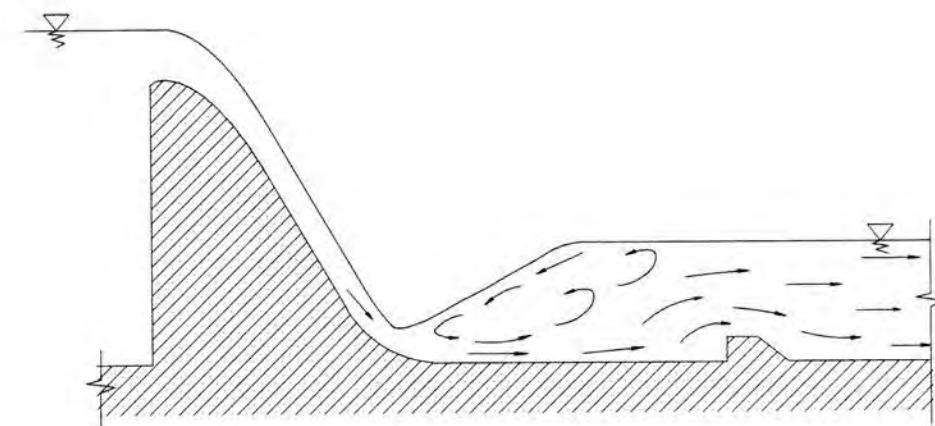
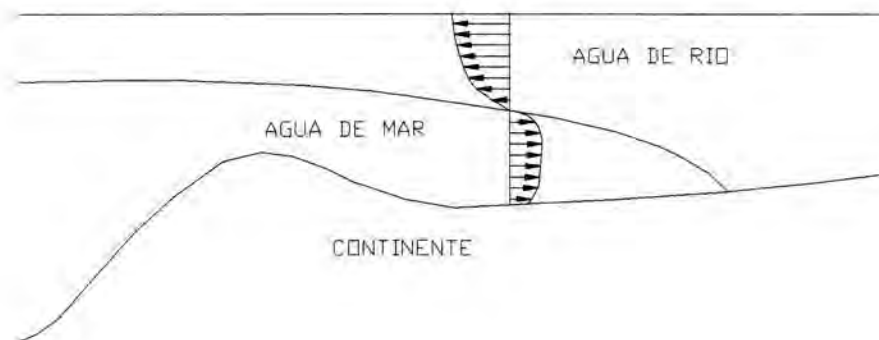


Figura N° 2.2.5



DISTRIBUCION DE VELOCIDADES CUANDO EL MAR
PENETRA EN EL CONTINENTE Y SE MEZCLA CON LAS
AGUAS DEL RIO

Figura N° 2.2.6

2.3 CONSECUENCIAS DE LOS CAMBIOS DE ORIENTACION

Para iniciar los estudios tanto a nivel de prefactibilidad como definitivo de cualquier proyecto hidráulico, es necesario contar con una información mínima de datos tales como la información de precipitaciones pluviales, de planos topográficos, estudios geológicos, estudios geotécnicos, estudios sísmicos, información hidrométrica de los ríos, y otras disciplinas relacionadas con los beneficios directos e indirectos, ya que sin estos valores no se pueden realizar los diseños de las obras civiles tales como: las represas, centrales hidroeléctricas, canales de irrigación, defensas ribereñas, servicios de agua potable, etc.

Es en este sentido que una de las partes importantes en los estudios hidráulicos, es la estimación de los caudales que se presentan a lo largo de la cuenca, los mismos que se determinan midiendo las velocidades en las secciones de los cursos naturales y artificiales.

Al emplear el método del correntómetro para las mediciones de la velocidad hoy en día se asume que los vectores velocidades son ortogonales a la sección de medición, pero debido a diversos factores como los mencionados anteriormente, esto no ocurre así, produciéndose de esta manera errores en la lectura de la velocidad, por ejemplo, si la orientación de la velocidad presenta una desviación de 1° respecto a la línea ortogonal de una sección de medición, el valor de la velocidad diferirá en un 0.0152% de la velocidad normal a la sección de medición y si este error se ve incrementado los valores diferirán mucho más. Mayor información se muestra en el Cuadro N° 1 y Láminas N° 1 y 2.

El Cuadro N° 1 está confeccionado según el acápite 4.4 y como podrá apreciarse en el cuadro y las Láminas N° 1 y 2, las variaciones que se presentan en el valor de las velocidades según el ángulo de orientación son variables, al unirse los puntos de estas variaciones por medio de un trazo, éstas se ajustan perfectamente al trazo de una curva que describe la función coseno, tal como se muestra en la Lámina 1.

De las Láminas N° 1 y 2 puede establecerse que la velocidad no cambia de sentido pero si se ve disminuida en su magnitud entre las variaciones de 0 a 90°, observándose que el error puede variar entre 0 y 100%; para una orientación de 90° no existe velocidad de ingreso en la sección de medición, ya que la velocidad es tangente a dicha sección, por consiguiente se le dará como valor cero para su área de influencia, si no se diese este valor el error cometido sería del orden de 100%; al seguir aumentando el valor de la orientación la velocidad seguirá disminuyendo en cuanto a su valor pero en cuanto a su magnitud irá aumentando, originando de esta manera un mayor error en la medición, pues en lugar de ingresar el flujo estaría saliendo de la sección de medición, cometándose un error que podría alcanzar el 200% en cuanto a su magnitud, ocurriendo esto para una orientación de 180°, lo que físicamente explicaría que la velocidad ha cambiado de sentido formándose de esta manera un flujo en contracorriente.

Finalmente se puede concluir, que el desplazamiento de cualquier masa fluida en cualquier canal presenta variaciones en su orientación con respecto a la normal de una sección de medición, es por esta razón que se hace necesario contar con un instrumento que permita determinar dicha orientación, para de esta manera poder realizar las correcciones necesarias a las velocidades y así poder obtener un dato más confiable para los estudios que se desee realizar.

CAPITULO 3

LOS AFOROS

En los capítulos anteriores de la presente tesis se desarrollaron algunos conceptos básicos de la Mecánica de los Fluidos, en este capítulo se muestra una aplicación de ella, tal es el caso de la medición de caudales en conductos abiertos a régimen no permanente, operación que comúnmente se denomina aforo.

En el país la dependencia oficial encargada de estas mediciones es el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), adicionalmente y con propósitos localizados contribuyen a la realización de estas mediciones entre otros las dependencias zonales del Ministerio de Agricultura y Electroperú S.A.

3.1 METODOS PARA AFORAR

Para determinar la descarga de los fluidos los parámetros que son susceptibles de ser medidos son la presión y velocidad.

En la actualidad se disponen de diversos métodos para determinar estas descargas como son los métodos directos, indirectos, gravimétricos, ópticos, volumétricos, electrónicos y el electromagnético. En el caso de las mediciones directas de la descarga, estas están referidas a la determinación del volumen o peso del fluido que pasa a través de una sección en un intervalo de tiempo. Los métodos indirectos de medición de descarga requieren la determinación de la altura piezométrica o carga, diferencia de presión o velocidad en varios puntos de una sección transversal de un canal. Los métodos más precisos son las determinaciones gravimétricas ó volumétricas que se determinan midiendo el peso o el volumen que descargan en un tanque calibrado en un intervalo de tiempo.

Generalmente, ningún método mide en forma directa la velocidad sino una cantidad medible que posteriormente se le relaciona con ella. Por ejemplo tenemos:

a) Tubo de Pitot

El tubo de Pitot es un instrumento especialmente diseñado para las mediciones de velocidades puntuales en canales abiertos y ésta estará localizada en donde esté colocado el aparato.

Este instrumento básicamente está compuesto por un tubo de vidrio transparente con un dobléz a 90° , ver Figura N° 3.1.a; para realizar la medición con este equipo es necesario colocar la boquilla del tubo (tramo más corto) en contracorriente al desplazamiento del fluido, de tal manera que éste fluya en el tubo por la abertura hasta que la presión del tubo aumente lo suficiente como para resistir el impacto de la velocidad contra él, originándose de esta manera un levantamiento del nivel del fluido dentro del tubo y un estancamiento de la masa fluida a la entrada de la boquilla, por lo tanto, la presión a la entrada de la boquilla del tubo, estará compuesta por la suma de las presiones estática y dinámica que se presentan en él.

Al aplicar Bernoulli entre la boquilla sumergida, al que denominaremos punto 2, y otro localizado en la misma masa y nivel que el primero, pero aguas abajo de ella, de tal manera que en esta ubicación se presente la velocidad real del fluido, la cual estará libre de la influencia del estancamiento que produce la boquilla antes mencionada, como es el caso del punto 1, ver la Figura N° 3.1.a.

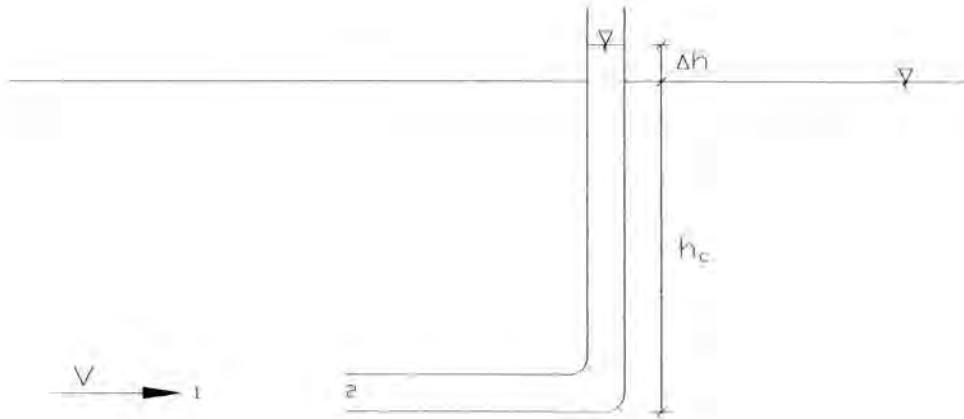


Figura N° 3.1.a

La ecuación resultante de la aplicación de Bernoulli entre los puntos 1 y 2 es la siguiente:

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma}$$

Los puntos 1 y 2 pertenecen a la misma masa fluida y están ubicados en un mismo nivel, por lo tanto Z_1 y Z_2 son iguales; como consecuencia del estancamiento producido en la boquilla del Tubo de Pitot la velocidad V_2 es nula, luego la ecuación anterior se ve reducida a:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma}$$

Por el principio de tubos comunicantes, la presión en 2 es igual a la suma de las presiones estática y dinámica producidas en el tubo de Pitot, es decir,

$$\frac{P_2}{\gamma} = h_c + \Delta h$$

De la Figura N° 3.1.a se deduce que la carga de presión en 1 es igual a la presión estática de 2, es decir:

$$\frac{P_1}{\gamma} = h_c$$

Al realizar las simplificaciones correspondientes y despejar la velocidad V_1 , se concluye que ella es sólo función directa de la presión dinámica, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

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

En la práctica, es muy difícil leer la altura de carga que genera la presión dinámica, por lo que su aplicación es recomendable para casos en los que el flujo presente velocidades altas, de modo que produzca una mayor presión dinámica.

b) Vertederos

Los vertederos son utilizados para estimar el gasto de los canales abiertos cuyo flujo esté sometido a régimen subcrítico, para conseguir esta información, es necesario colocar dicha estructura en el canal, de manera que produzca la obstrucción del mismo, logrando de esta manera que el líquido fluya sobre él, en este caso se medirá la distancia en vertical entre la cresta del vertedero y la superficie líquida, ubicada aguas arriba en una longitud " L " tal que el tirante normal, no se vea afectada por la contracción de la superficie líquida que se origina por la salida del mismo a través del vertedero, ver la Figura N° 3.1.b.a y 3.1.b.b.

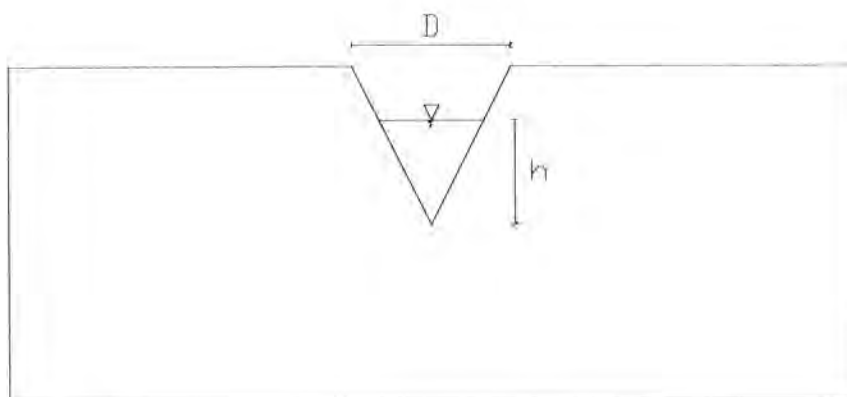


Figura N° 3.1.b.a

b) Vertederos

Los vertederos son utilizados para estimar el gasto de los canales abiertos cuyo flujo esté sometido a régimen subcrítico, para conseguir esta información, es necesario colocar dicha estructura en el canal, de manera que produzca la obstrucción del mismo, logrando de esta manera que el líquido fluya sobre él, en este caso se medirá la distancia en vertical entre la cresta del vertedero y la superficie líquida, ubicada aguas arriba en una longitud " L " tal que el tirante normal, no se vea afectada por la contracción de la superficie líquida que se origina por la salida del mismo a través del vertedero, ver la Figura N° 3.1.b.a y 3.1.b.b.

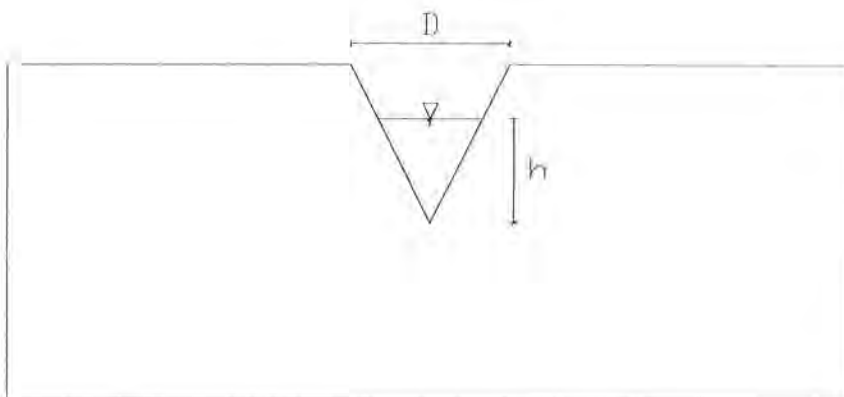


Figura N° 3.1.b.a

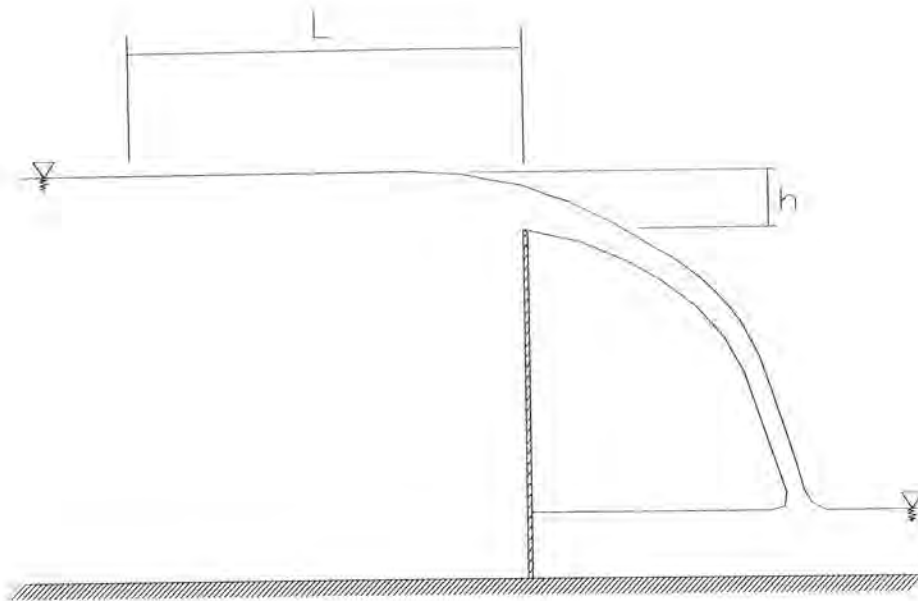


Figura N° 3.1.b.b

$$Q = f(h)$$

Los vertederos son clasificados en vertederos de cresta aguda y cresta ancha; los de cresta aguda permiten que el chorro de fluido salga en forma libre, mientras que los de cresta ancha soportan el flujo en una dirección longitudinal. También se les puede clasificar de acuerdo a la forma geométrica que presente la abertura del vertedero, como pueden ser del tipo triangular o rectangular

La capacidad de descarga en los vertederos dependerá del área neta que presente la abertura del mismo, en el caso que ella tenga una forma triangular, éste dependerá del ángulo que presente en su cresta, es decir, a mayor ángulo mayor será su capacidad de descarga siendo la máxima para un ángulo de 180° que es el caso de un vertedero del tipo rectangular.

c) Flotadores

Cuando en las condiciones de flujo se presentan velocidades y tirantes muy bajos, es recomendable realizar la medición de las velocidades por medio de flotadores, dado que al introducir algún instrumento de medición es posible que el flujo se viera alterado (dirección y/o magnitud) y hasta posiblemente ésta desaparecería.

Para realizar las mediciones con los flotadores, primeramente se debe seleccionar un tramo de canal que presente una pendiente uniforme, luego se procede a arrojar los flotadores como pelotitas fabricadas en jebe, plástico o tecnopor, con la finalidad de que éstas floten a lo largo del flujo, posteriormente se controla el tiempo (t) que el flotador tarda en desplazarse de un punto a otro a lo largo del canal (distancia L).

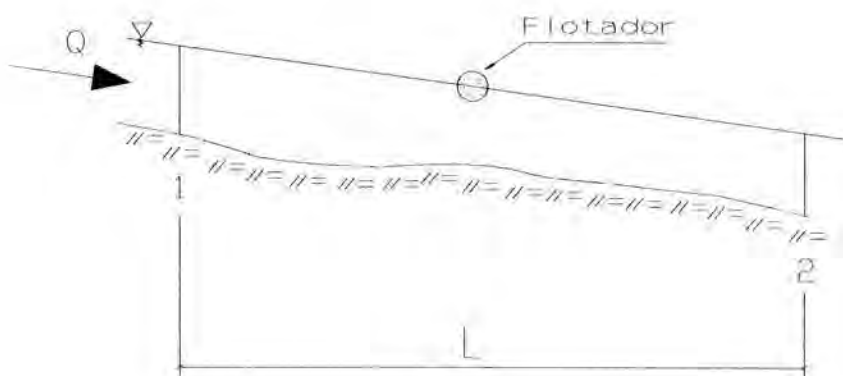


Figura N° 3.1.3

Por lo tanto la velocidad por dicho método será:

$$V = \frac{L}{t}$$

d) Concentración de Sales o radioisótopos

Aparte de los métodos físicos mencionados anteriormente, también existen los métodos en las que se emplean sustancias químicas, como son las soluciones salinas o emisión de radioisótopos, en este caso las mediciones del gasto son directas.

Cuando las condiciones de flujo estén caracterizados de movimiento en turbulencia, con velocidades mayores a los 3 m/s, que por lo general se presenta cuando la rugosidad del lecho del canal y la pendiente longitudinal promedio son elevadas, en este caso es recomendable usar soluciones salinas para la estimación del gasto, pues con estas condiciones de flujo se realizará una buena mezcla de la sal en el fluido, por lo general se emplea al Cloruro de Sodio o Clorhidrato de Potasio como la muestra salina.

La determinación del gasto es función directa de la relación que existe entre las concentraciones tanto en el lugar donde se vertió como de donde se recoge la muestra. Ver la siguiente figura y ecuación.

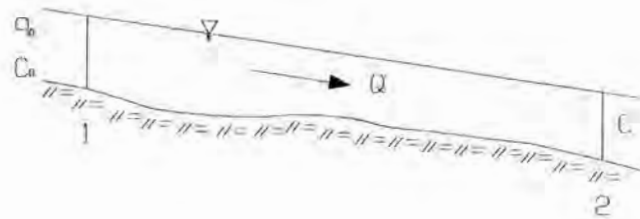


Figura N° 3.1.4

$$Q = q_0 \frac{C_0}{C} - q_0$$

Donde:

Q = Caudal del Canal

q_0 = Caudal de la Solución Salina

C_0 = Concentración en la Sección donde se echó la solución

C = Concentración en la Sección donde se recoge la muestra

Otra forma similar de medir el gasto, es con la utilización de radioisótopos en lugar de sal, en este caso la medición de radioisótopos que pasa por una determinada sección se registra con unos instrumentos especiales.

Los radioisótopos son elementos químicos que están constantemente desintegrándose en forma natural y emiten radiaciones cuyas ondas son del tipo alfa, beta y gamma, siendo la última la más importante, debido a que su longitud de onda es mucho mayor que las otras.

Las sustancias más comunes que son empleadas como isótopos son el uranio, radio, polonio, torio, selenio, potasio, yodo, etc., de todos estos elementos el mejor isótopo es el uranio.

Al igual que usar sales la forma de determinar el gasto que circula por un determinado canal, es seleccionando primeramente un tramo en el que se realizará los estudios, para esto deberá elegirse dos secciones tal como se muestra en la figura N° 3.1.4, siendo la sección 1 el lugar donde se inyectará la sustancia radiactiva, y la sección 2 la sección donde se colocarán los instrumentos que medirán las radiaciones emitidas por los isótopos los cuales servirán para estimar el gasto en dicha sección.

Con el empleo de estas sustancias se pueden estimar velocidades mucho mayores que con el empleo de sales.

e) Correntómetro

El equipo medidor de corrientes conocido como correntómetro, sirve para medir velocidades puntuales en las secciones transversales de canales abiertos.

Básicamente esta conformada por una hélice, que está diseñada para girar cuando es impactada por el desplazamiento de un fluido; cuando ésta ha girado un determinado número de vueltas emite una señal, que son captadas por unos audífonos que se colocan en la superficie; el número de señales emitidas estará relacionada con la velocidad del medio donde se encuentra sumergido el equipo y ambas se correlacionan con su respectiva fórmula de calibración.

Con el fin de eliminar cualquier error provocado por la adherencia de polvo, pajas o un golpe sufrido en el equipo, es recomendable practicar anualmente su calibración en laboratorio.

Como las velocidades que se presentan en las secciones de mediciones, por lo general no son muy altas y tampoco muy bajas, y para evitar el deterioro ecológico con sustancias tóxicas o nocivas, en este capítulo sólo nos interesará hacer referencia a la medición de caudales mediante el método indirecto del aforo con correntómetro, por ser éste práctico y fácil de realizar en cualquier medio.

3.2 MEDICION DE VELOCIDAD Y GASTO CON CORRENTOMETRO

Para evaluar el gasto mediante el método indirecto de aforo con correntómetro, es necesario conocer la velocidad en un determinado número de puntos que previamente han sido ubicados en una sección transversal.

Las velocidades con el empleo del correntómetro se determinan en forma indirecta, debido a que éste no proporciona dicha variable, si no el tiempo que requiere sus hélices en dar una vuelta completa; la relación que resulta entre el número de vueltas y el tiempo que requiere para darlas, se reemplaza en su respectiva fórmula de calibración con el fin de obtener el valor de la velocidad del flujo; la relación referida es conocida como frecuencia "N", y la velocidad es función de la frecuencia.

$$V = f(N)$$

El gasto será igual al producto de la velocidad por el área de influencia que tiene ésta en la sección de medición tal como se referirá en el Capítulo N° 3.3.3.

3.3 CORRENTOMETRO TIPO GURLEY

El correntómetro tipo Gurley, es uno de los equipos de mayor uso para la estimación de las velocidades dentro de la masa de un fluido, ver Fotografía N° 1.

El correntómetro está fabricado con varios accesorios, pero su componente principal lo constituye su hélice, que está compuesta de alabes que tienen la forma de copas, éstas han sido diseñadas de tal manera que girarán al menor impacto que le produzca el desplazamiento de cualquier fluido, gráficamente se le representa de la siguiente manera:

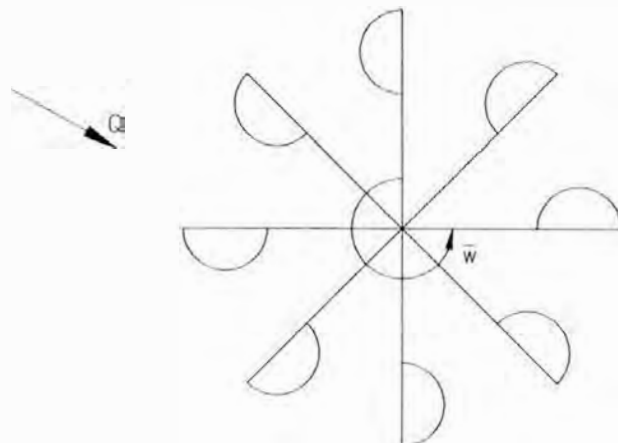


Figura 3.3.1 Vista en Planta del Correntómetro.

La hélice girará fuese cual fuese la orientación del flujo cuando termine una vuelta y acciona un dispositivo eléctrico que emite una señal audible, la cual es transmitida por medio de un cable a unos audífonos que se

encuentran en la superficie con su respectivo operador, de esta manera es posible detectar dicha señal y controlar el tiempo que requiere la hélice para dar una vuelta.

Conocido el número de vueltas y el tiempo requerido para darla, entonces es posible determinar la frecuencia (N) de la hélice, cuyo valor al reemplazarla en la fórmula de calibración del correntómetro, dará como resultado la velocidad del fluido. Cabe destacar, que la velocidad determinada con este instrumento es puntual y su punto de aplicación estará localizado en la intersección de los ejes vertical y horizontal de la hélice del instrumento.

3.3.1 DESCRIPCION DEL CORRENTOMETRO

El correntómetro tipo Gurley, se caracteriza por tener un eje de giro vertical, sus accesorios principales comunes a otros correntómetros son:

- Lastre, cuyo peso varía según la fuerza de arrastre del flujo y sirve para dar verticalidad al cable de sujeción.
- Aletas, orientan al correntómetro en la dirección del flujo y dan estabilidad al sistema.

- Cable , sujeta al correntómetro y lastre, a su vez, por ser de alambre de cobre revestido transmite las señales audibles del instrumento.

- Audífonos, se le emplea para escuchar las señales transmitidas por el correntómetro, a fin de medir el tiempo de rotación de la hélice.

- Cronómetro, se le utiliza para medir el tiempo empleado por la hélice para dar una vuelta.

Para trabajar con este equipo, es necesario contar con dos personas, una de ellas es la encargada de sujetar y deslizar el equipo mientras que la otra de recepcionar las señales y registrar los tiempos. Ver la Fotografía N° 2.

3.3.2 OBTENCION DE LA VELOCIDAD CON EL EMPLEO DE CORRENTOMETRO

En la práctica se determina la velocidad, con el fin de estimar el gasto que fluye por un canal, cuando ésta es determinada con el correntómetro es puntual y estará localizada en el plano que contiene al eje horizontal de la hélice, como consecuencia de esto, y teniendo la necesidad de calcular el gasto que fluye por una determinada sección, se deberá elaborar un plan de mediciones, en el cual estará definido la sección de aforo así como las intersecciones de los ejes verticales y horizontales en donde se ubicará el equipo, ver figura N° 3.3.2.1.

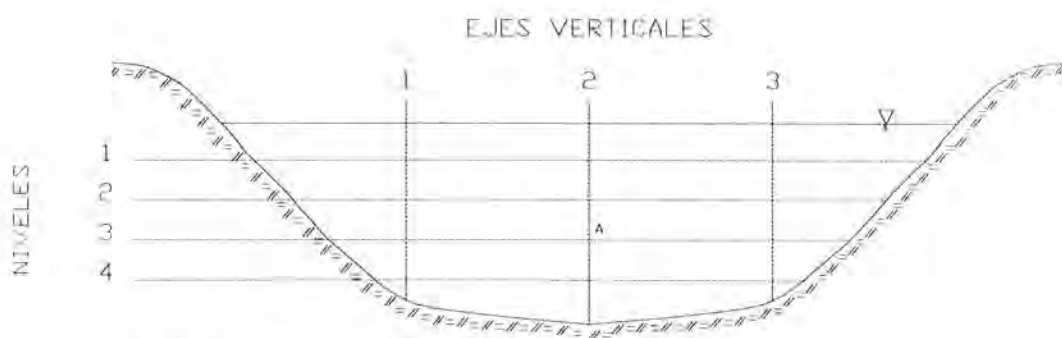


Figura 3.3.2.1 Sección Transversal mostrando en la intersección del nivel 3 y el eje vertical 2 un punto de medición.

Después de elaborarse el plan de mediciones, el siguiente paso es conocer la calibración del correntómetro, siendo ésta una fórmula que correlaciona la lectura registrada con la velocidad del fluido, el mismo que se representará de la siguiente manera siguiente:

$$V = a * N + b \dots\dots(3.3.2)$$

Donde: V = Velocidad (m/s)

N = Frecuencia (rps)

a,b = Constante de calibración

El procedimiento para obtener la velocidad, mediante la utilización del correntómetro, es el siguiente:

- 1.- Antes de iniciar el trabajo, se deberá marcar el cable con cintas aislantes, en los puntos que al ser colocados en un nivel de referencia, nos den la seguridad de que el equipo se encuentre en la profundidad deseada.
- 2.- Después de ubicar el correntómetro en el nivel deseado, el operador deberá colocarse los audífonos, para recepcionar las señales emitidas.

- 3.- Al momento de escuchar la primera señal, se empezará a medir el tiempo que requiere los cinco contactos siguientes, y luego se anota en la libreta de registro.
- 4.- Con el tiempo registrado en el paso anterior, se calculará la frecuencia N , dicho cálculo se realizará de la siguiente manera:

$$N = \frac{5}{T}$$

Donde: N = Frecuencia (rps)

5 = Número de vueltas registradas

T = Tiempo para 5 vueltas (s)

- 5.- Para una mayor seguridad en la estimación de las velocidades en cada punto se recomienda registrar como mínimo 3 veces los tiempos referidos a 5 vueltas de las hélices.
- 6.- Después de tener la información necesaria para la estimación de la velocidad en un punto, se desplaza el correntómetro y se comienza nuevamente desde el paso 2.

3.3.3 ESTIMACION DEL CAUDAL

En la actualidad existen muchos métodos para determinar el caudal que tránsito por una sección; en esta investigación se detallará el método que emplea al correntómetro tipo Gurley.

Tal como fue mencionado, la velocidad obtenida con el correntómetro es puntual, y para tener mejores resultados en el aforo, se tendrá que medir en varios puntos de una sección, como la que se presenta en el esquema de la Figura N° 3.3.3.1.

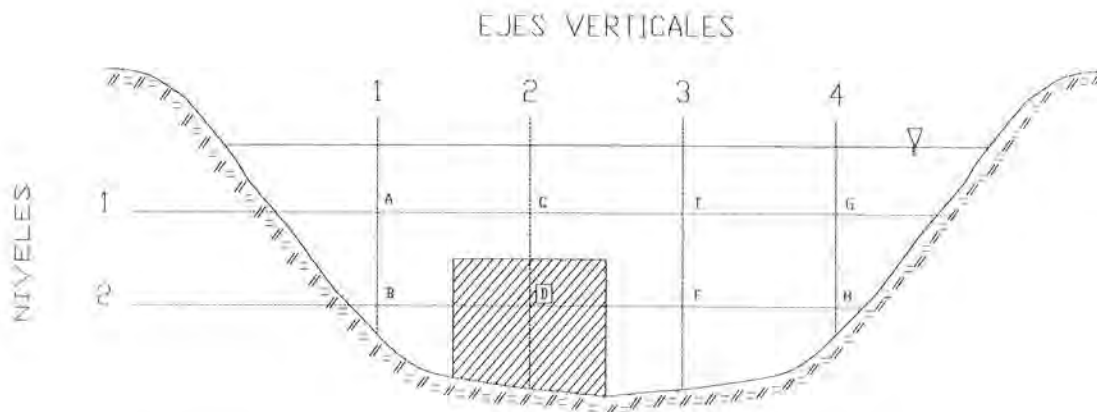


Figura 3.3.3.1 SECCION TRANSVERSAL DE AFORO

La sección de aforo deberá presentar características geométricas que no varíen mucho en el tiempo, debido a que el área de esta sección será considerada invariable para la determinación del caudal y ésta se calculará aplicando la siguiente expresión:

$$Q = A * V$$

Donde: Q = Caudal (m^3/s)

A = Area (m^2)

V = Velocidad (m/s)

De acuerdo al esquema de la Figura N° 3.3.3.1, para la misma sección de aforo se determinarán varias velocidades, como por ejemplo V_D que estará ubicada en el punto D, determinándose de esta manera varios caudales parciales, como:

$$Q_{PD} = A_{PD} * V_{PD}$$

Donde: Q_{PD} = Caudal Parcial en D.

A_{PD} = Area Parcial en D.

V_{PD} = Velocidad Parcial en D.

De la expresión anterior, los caudales parciales Q_p están relacionados con una velocidad y ella a su vez con un área denominada área de influencia.

El contorno del área de influencia está conformada por líneas horizontales y verticales que son ubicadas en los puntos medios de los segmentos que une el punto de medición con los adyacentes y/o contorno de la sección transversal del canal o el nivel superficial del fluido, los cuales representarán los límites del área. Un ejemplo es la superficie achurada de la figura anterior, que representa al área de influencia para la velocidad V_p .

Después de determinar y sumar los caudales parciales, el caudal total es expresado de la siguiente manera:

$$Q_T = \sum Q_{P_i} = \sum (A_{P_i} V_{P_i})$$

$$Q_T = A_A V_A + A_B V_B + A_C V_C + A_D V_D + A_E V_E + A_F V_F + A_G V_G + A_H V_H$$

3.4 SELECCION DE LAS SECCIONES DE AFORO

Para el estudio de los recursos hidráulicos de una cuenca, es necesario tener la información de los registros diarios de las descargas de los ríos que conforman la cuenca en períodos de tiempos largos.

Debido al alto costo que significa aforar en una sección, se establecen secciones de mediciones en lugares donde el canal presente poca variación tanto en su fondo como en sus laderas. Estas secciones deberán estar ubicadas en un tramo lo suficientemente recto tanto aguas arriba como aguas abajo, procurando que las secciones transversales a lo largo de dicho tramo no varíen una de la otra, de tal manera que se consiga disminuir la variación de la orientación del flujo respecto a la normal de la sección de medición. Ver las Fotografías N° 3 y 4.

Un método para no tener que aforar constantemente y así disminuir los costos de esta operación es determinando y graficando la relación que existe entre el nivel alcanzado por el agua y la descarga en ese instante, lo que en términos prácticos sirve para estimar el caudal con tan sólo medir el nivel del agua.

La medición de estos niveles de agua pueden hacerse en un instante, mirando los niveles alcanzados sobre las miras o limnímetros exprofesamente instalados, así como también en forma continua recurriendo a los denominados limnigrafos que registran estos niveles en tambores calibrados, ver fotografía N° 5.

Con las mediciones de caudales tomadas de tiempo en tiempo, conforme va cambiando la descarga del río y conociendo los niveles para ese instante es posible realizar la gráfica que relaciona el tirante del río con la descarga de agua (curva tirante - gasto), como a modo de ejemplo se ha aplicado a los datos registrados por ELECTROPERU S.A. válidos para el año 1992 en la Estación La Balsa sobre el río Santa y son mostrados en el Cuadro N° 3.3.1 y su gráfica en la Figura N° 3.3.1

CUADRO N° 3.3.1**DATOS DE VARIACION DE TIRANTE vs CAUDAL**

| ELECTROPERU S.A. | |
|---|---------------------------------|
| ESTACION LA Balsa - CUENCA SANTA - RIO SANTA | |
| PROVINCIA HUAYLAS - DEPARTAMENTO ANCASH | |
| DATOS AÑO 1992 | |
| TIRANTE (m) | CAUDAL (m³/s) |
| 4.00 | 17.75 |
| 4.10 | 23.30 |
| 4.20 | 30.21 |
| 4.30 | 38.72 |
| 4.40 | 49.09 |
| 4.50 | 61.63 |
| 4.60 | 76.69 |
| 4.70 | 94.63 |
| 4.80 | 115.87 |
| 4.90 | 140.87 |
| 5.00 | 170.11 |
| 5.10 | 204.16 |
| 5.20 | 243.59 |
| 5.30 | 289.04 |
| 5.40 | 341.22 |
| 5.50 | 400.88 |

TIRANTE VS CAUDAL
ESTACION LA Balsa - RIO SANTA - 1992

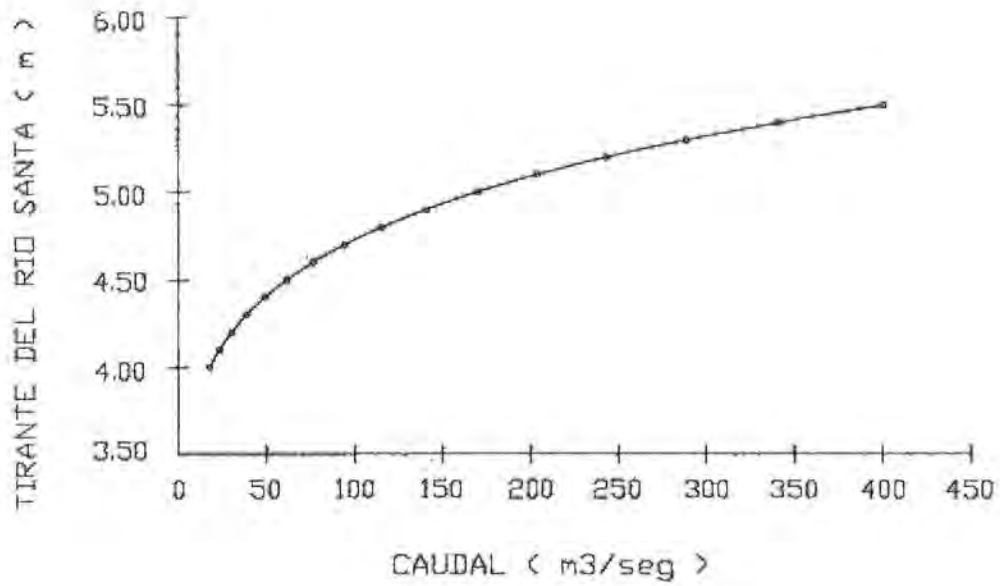


Figura N° 3.3.1

CAPITULO 4

MEDIDOR DE LA ORIENTACION DE LAS CORRIENTES

El equipo medidor de la orientación de la corriente de un fluido está especialmente diseñado y construido para determinar coeficientes de corrección con el que se debe afectar a la velocidad obtenida con el correntómetro cuando las corrientes no son necesariamente normales a la sección de medición.

La aplicación del equipo es sólo la de encontrar el ángulo de orientación del flujo y, debido a que este parámetro es adimensional, este equipo puede ser empleado tanto en trabajos de prototipo como de modelos hidráulicos reducidos, sin la necesidad de practicar correcciones por efectos de escala al dato registrado.

4.1 DESCRIPCION DEL EQUIPO

4.1.1 DESCRIPCION DEL EQUIPO PARA SER EMPLEADO EN TRABAJOS DE ESCALA REAL

El equipo medidor de la orientación del flujo, para trabajos en escala real está constituido por:

- Una plancha metálica de sección rectangular, con una instalación para el giro del eje.
- Un Transportador de 360° , al que denominaremos T_A , en él se leerá la orientación en horizontal del flujo.
- Un Transportador de 90° , al que denominaremos T_B , en él se leerá la desviación vertical que experimenta el tubo, debido a los efectos de la fuerza de arrastre del fluido.
- Tubos de aluminio para transmitir la orientación del fluido a la superficie; presentan perforaciones transversales en sus extremos.

- Aleta, que sirve para captar la orientación del fluido.

En la Lámina N° 3, y las Fotografías N° 8 y 9 se muestra el equipo medidor de las orientaciones del flujo.

4.1.2 DESCRIPCION DEL EQUIPO PARA SER EMPLEADO EN TRABAJOS DE MODELOS HIDRAULICOS REDUCIDOS

El equipo medidor de la orientación del flujo, para trabajos en escala reducida, está constituido por:

- Una plancha metálica de sección rectangular, será base y apoyo del equipo.
- Un perno, deslizará verticalmente al eje medidor de la orientación, para ubicarlo en la profundidad en la que se hará la medición, en sus extremos presenta rodajes que ayudarán al giro del eje según la orientación del fluido, asimismo unirá el eje con el perno.
- Un eje circular, transmitirá la orientación del fluido al transportador T_A .

- Una aleta, captará la orientación del fluido.
- Dos soportes, estarán colocados en la parte superior de la base, en ellos se colocará el transportador T_A .
- Un transportador de 360° , al cual denominaremos T_A , en él se leerá el ángulo u orientación que experimente el fluido.

En la Lámina N° 4, y la Fotografía N° 6 se muestra el equipo que es cuestión de este tema de investigación.

4.2 MANEJO DEL EQUIPO

El equipo ha sido diseñado para corregir la información proporcionada por el correntómetro, ya que éste último no indica en que dirección está circulando el fluido y lo que corrientemente se asume es que el flujo es normal a la sección de medición, lo cual no necesariamente es así.

El manejo del equipo es sencillo, lo primero a considerar es lo referente a la ubicación del equipo en la sección de medición, y éste debe ser colocado de tal manera que la línea $180^\circ - 0^\circ$ del transportador T_A coincida con el sentido de la línea normal de la sección de medición, que el 0° del transportador T_A se encuentre aguas arriba respecto a los 180° , asimismo la línea que une los 90° con los 270° del mismo transportador coincida con la sección de medición, ver la Fotografía N° 7.

En la siguiente figura se muestra la ubicación correcta del transportador T_A en relación al flujo y la sección de medición. Como podrá observarse, la disposición de los cuadrantes son similares a los del círculo trigonométrico, por lo tanto los valores del primer cuadrante variarán entre los 0° a 90° I, el segundo entre los 90° I a 180° , el tercero entre los 90° D a 180° y el cuarto cuadrante entre los 0° a 90° D.

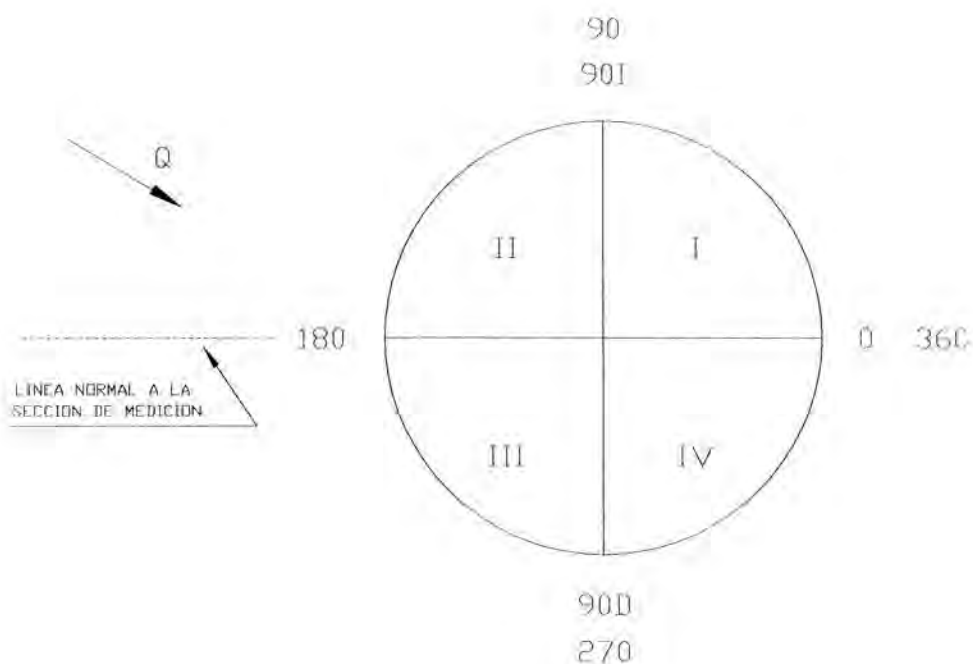


Figura N° 4.2.1 Ubicación del Equipo Medidor de la Orientación en relación al movimiento del fluido y la sección de medición.

Después de colocar el equipo en la sección de medición, se procede a deslizar la aleta a la profundidad en la que se medirán las orientaciones del flujo, y luego, se comienza a registrar las lecturas del transportador T_A .

El número de lecturas que se considere registrar quedará a criterio del investigador, y dependerá de la precisión del trabajo que se desee realizar, pero como mínimo se recomienda tomar 4 datos para cada profundidad.

Para evitar distorsiones en las medidas a causa de las variaciones del nivel del agua, es recomendable que los datos sean tomados cuando se presenten niveles estables.

Al llenar los datos en la libreta, se registrará la dirección del movimiento letra D (derecha) ó I (izquierda) al final del valor del ángulo, con la finalidad de conocer exactamente la orientación del flujo.

4.3 OBTENCION DE LA ORIENTACION CORRECTORA DEL FLUJO

Después del trabajo de campo, con la información obtenida se procede al trabajo de gabinete. En esta parte de la investigación se comienza por analizar los datos, eliminándose aquellos que sean considerados como extraños, luego se procesa los que queden, lográndose así la determinación de la orientación del flujo, la forma de como trabajar con ellos se detalla a continuación:

En forma general, el procedimiento a seguir será la de promediar los valores encontrados en cada cuadrante, luego se promediarán los promedios de los cuadrantes que estén a la derecha e izquierda de la línea 0-180°, primer cuadrante con el segundo y tercero con el cuarto, finalmente se promedian estos últimos valores, dando como resultado la orientación del flujo, la secuencia del cálculo se presenta a continuación:

$$\text{Prom. I Cuadrante} = \text{PIC}$$

$$\text{Prom. II Cuadrante} = \text{PIIC}$$

$$\text{Prom. III Cuadrante} = \text{PIIIC}$$

$$\text{Prom. IV Cuadrante} = \text{PIVC}$$

$$\text{Prom. A} = (\text{PIC} + \text{PIIC})/2$$

$$\text{Prom. B} = (\text{PIIIC} + \text{PIVC})/2$$

$$\text{Orientación} = (\text{Prom. A} + \text{Prom. B})/2$$

El sentido de la derecha o izquierda a considerar, será el sentido del mayor valor que se de entre los Prom. A y Prom. B.

En forma particular se presentan los siguientes casos:

- a) Cuando las lecturas de los ángulos caen en un mismo cuadrante, el ángulo ha considerar para realizar las correcciones será el promedio de dichos valores.

Ejm.: 10D, 30D, 60D y 40D

$$\text{Angulo Corrector} = \frac{10 + 30 + 60 + 40}{4} = 35 D$$

- b) Cuando las lecturas de los ángulos caen en diferentes cuadrantes, entonces se deberá aplicar la regla general.

Ejm.: 30I, 40D, 30I y 50D

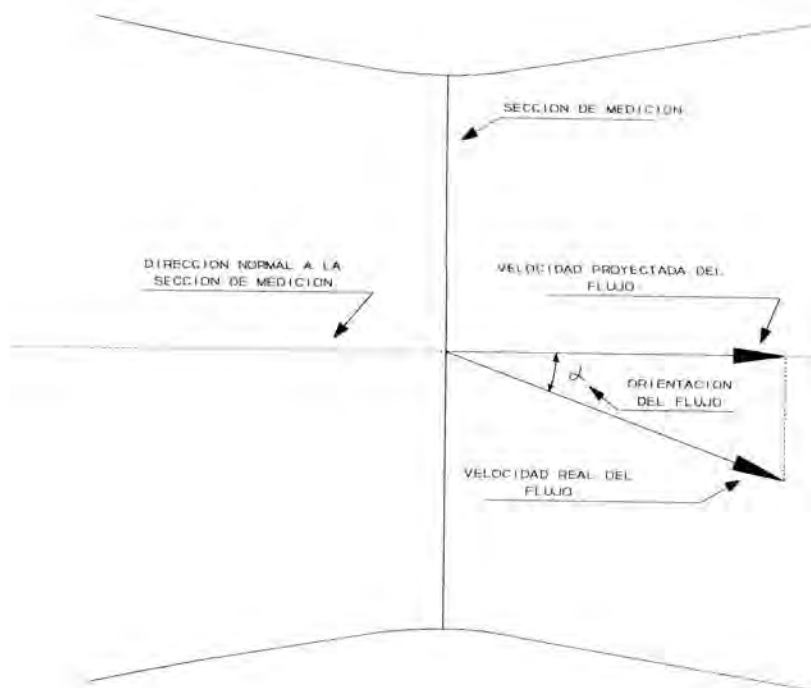
$$\text{Angulo Corrector } I = \frac{30 + 30}{2} = 30 \text{ } I$$

$$\text{Angulo Corrector } D = \frac{40 + 50}{2} = 45 \text{ } D$$

$$\text{Angulo Corrector} = \frac{30 + 45}{2} = 37.5 \text{ } D$$

4.4 CORRECCION DE LAS VELOCIDADES MEDIDAS CON CORRENTOMETRO

Cuando la velocidad ya ha sido estimada según el método indirecto, en la que se emplea el correntómetro, y si ya es conocida la orientación del flujo, entonces la manera de realizar la corrección de la velocidad es sencilla, puesto que lo que se desea conocer es sólo la magnitud de la velocidad que se orienta en forma normal a la sección de medición, y la manera de determinarla es afectando la velocidad con la función coseno del ángulo de la orientación registrada, de esta forma lo que hemos logrado es la proyección de la velocidad en la dirección que nos interesa, gráficamente se aprecia en la siguiente Figura N° 4.4.1.



ESQUEMA DE LA SECCION DE MEDICION

FIGURA N° 4.4.1

Entonces, se puede aplicar la siguiente fórmula para realizar la corrección de la velocidad.

$$\text{Vel. Corregida} = \text{Vel. Real} * \text{Cos} (\alpha)$$

En el Cuadro N° 1 se muestra los resultados de las velocidades obtenidas al aplicar la corrección por orientación, este cuadro ha sido elaborado para una velocidad unitaria, que ha sido afectada por varias orientaciones; en él se muestra también la magnitud de los errores que se pueden cometer al obviar dicho parámetro, y éstos pueden variar desde el 0% al 200%, asimismo se muestran las Láminas N° 1 y 2 en las que gráficamente se aprecia la variación que sufriría la velocidad y el error cometido según el ángulo de orientación.

CAPITULO 5

APLICACIONES DEL EQUIPO MEDIDOR DE ORIENTACION DE FLUJO

5.1 APLICACION EN LA EVALUACION DEL DESARENADOR DE LA C. H. CAÑON DEL PATO

Dentro del marco del Convenio de Cooperación Técnica suscrito entre ELECTROPERU S.A. y la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA el 16 de Noviembre de 1990, ésta última encargó al LABORATORIO NACIONAL DE HIDRAULICA la elaboración y ejecución de los trabajos en prototipo de la Evaluación del Funcionamiento del Desarenador de la Central Hidroeléctrica Cañón del Pato, estudio que se realizó en el mes de Junio de 1993, y estuvo a cargo del Ing. Francisco Coronado Del Aguila.

5.1.1 UBICACION Y DESCRIPCION DE LA C. H. CAÑON DEL PATO

La Central Hidroeléctrica Cañón del Pato es abastecida con aguas provenientes del río Santa y está ubicada en el distrito de Huallanca, Provincia de Huaylas, Departamento de Ancash (hoy Región Chavín), entre la longitud Oeste $77^{\circ} 52' 04''$, latitud Sur $8^{\circ} 49' 02''$ y a una altitud de 1405 m.s.n.m.

El barrage de la central es del tipo fijo, con cota de coronación 1807.50 m.s.n.m., construida en concreto armado y cierra totalmente el cauce del río Santa; en la margen derecha e inmediatamente aguas arriba de la represa se encuentra las ventanas de captación.

Desde la toma al desarenador existe un túnel de 550 m. de longitud, con sección del tipo herradura de 5.40 m. de diámetro.

El desarenador en caverna de esta central consta de 4 naves, su extremo final se comunica con un pique de 30 m. de altura y está diseñado para trabajar con un caudal de hasta $48 \text{ m}^3/\text{s}$.

El pique construido a la salida del desarenador se une con la casa máquina por medio del túnel principal de 8,387 m, revestido íntegramente en concreto salvo sus últimos 70 m. que muestra un blindaje de acero.

El caudal que llega al extremo final del túnel principal es entregado a tres piques de 400.00 m. de altura y finalmente a la Casa Máquina, que alimenta a un grupo alternador de 35,000 H.P., que produce una energía máxima de 150 MW.

La Casa de Máquinas es una sala subterránea perforada a 375 m. de la superficie, tiene una longitud de 130 m. donde se ubican seis turbinas tipo Peltón de 25 MW cada una.

Por debajo de la casa de fuerza sale el túnel de desagüe que recoge las aguas turbinadas y las devuelve al río Santa.

Después de salir la energía del Banco de Transformadores pasa por el Patio de llaves y mediante dos líneas de transmisión de 138,000 Kv llega a la ciudad de Chimbote.

5.1.2 EL DESARENADOR

El desarenador es una estructura hidráulica cuya función es eliminar sólidos de diámetros que dependen de lo estipulado en el diseño y de acuerdo a las necesidades del proyecto, tales como:

- Proteger la vida útil de represamiento.
- Proteger de la erosión a las turbinas de una central hidroeléctrica.
- Protección de los canales o túneles contra la erosión o sedimentación.
- Protección del sistema de distribución y riego en un proyecto de irrigación, etc.

El desarenador está constituido por una transición de entrada, un tanque sedimentador, una transición de salida y un sistema de purga.

5.2 EL DESARENADOR DE LA C. H. CAÑÓN DEL PATO

El desarenador de la C. H. Cañón del Pato es una concepción francesa y está diseñada para funcionar con 4 naves, siendo las extremas de mayor longitud (36 m.), debido a que éstas tienen dos tramos en curva (al ingreso y salida), mientras que las centrales son totalmente rectas (31 m.), ver las Láminas N° 5 y 6.

Como la estructura está construida en caverna, las longitudes de las naves no son suficientes para cumplir con su objetivo, debido a esta razón se ha agregado una tabiquería de desarenamiento a lo largo y ancho de todas las naves.

El tabicado está constituido por elementos prefabricados de 2.00 m. de longitud, los cuales conforman tubos de sección rectangular de 1.16 m. de lado, con un espesor de 7 a 10 cm., ver lámina N° 7 y fotografía N° 10, cada tubo funciona independientemente como si fuera un desarenador, obteniéndose de esta forma una altura de caída de sólidos en suspensión máxima de 1.25 m.

El sistema de purga del desarenador es intermitente, las naves laterales cuentan con 44 válvulas de purga mientras que las centrales con 40 y entran en funcionamiento cuando son accionadas desde un tablero eléctrico.

Cuando se llevó a cabo el trabajo de investigación, la cuarta nave se encontraba inoperativa, debido a que por encargo de Electroperú S.A., la empresa COHISA se encontraba culminando los trabajos de modificación de las válvulas de purga y del sistema de funcionamiento de los mismos.

Para la evaluación de la eficiencia del desarenador, se realizaron mediciones de velocidades y concentraciones tanto al ingreso como a la salida de las naves, ver Láminas N° 5 y 6. En el presente tema sólo serán consideradas las velocidades para la aplicación del equipo medidor de las orientaciones de un flujo.

5.2.1 FACTORES QUE CAUSAN LA VARIACION DE LA ORIENTACION DEL FLUJO EN EL DESARENADOR DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA DEL CAÑON DEL PATO

Después de analizar el comportamiento de las aguas captadas, desde la Toma hasta la salida del desarenador, se notó que las orientaciones que tenían tanto las aguas superficiales como las de profundidad, en algunos casos, no eran normales a la sección de aforo, este fenómeno de alguna manera estaba influenciado por:

- a) La presencia de una tabiquería en las naves que vistas en un corte transversal forman una especie de panal de abejas (ver láminas N° 6 y 7), siendo su área neta 11.46 m^2 por nave y el área de cada nave de 71.68 m^2 .
- b) Las corrientes adicionales generadas por la decantación del agua-sedimento en las ranuras de conexión de la tabiquería.
- c) El mal funcionamiento del sistema de purga que ocasiona variaciones en los niveles del agua, creándose de esta manera corrientes ascendentes y descendentes.

- d) La mala maniobra en las compuertas de las ventanas de captación que ocasiona un aumento de caudal que no puede ser evacuado por el primer pique y al chocar éstas con las paredes que conforman el pique generan ondas de reflexión que se propagan a lo largo de las naves.

De acuerdo a los factores anteriores y de lo apreciado en la investigación, el agua presenta flujos cruzados y en contracorriente, siendo por lo tanto necesario el uso del medidor de orientación del flujo, para posteriormente realizar las correcciones de las velocidades.

5.3 DETERMINACION DE LAS VELOCIDADES Y DESCARGAS EN EL DESARENADOR DE LA C.H. CAÑON DEL PATO.

Para realizar la investigación, previamente se hizo un plan de mediciones de velocidad y descargas en secciones ubicadas delante y detrás de las naves del desarenador las cuales están separadas 5.00 m. una de la otra, ver Lámina N° 8.

Para llevar a cabo las mediciones de velocidad se contó con dos correntómetros tipo Gurley, uno empleado al ingreso de las naves y el otro a la salida, por las condiciones de flujo al ingreso y salida del desarenador fue necesario adicionarles lastres de 7 Kg. a cada uno y

para medir las orientaciones del flujo se utilizó el equipo que es tema de la investigación, ver Lámina N° 3 y Fotografías N° 8 y 9.

5.3.1 PLAN DE MEDICIONES

Para obtener buenos resultados en el cálculo de las velocidades, es necesario contar con una buena sección de aforo, estableciéndose en ella los ejes verticales y horizontales en cuya intersección se efectuarán las mediciones.

Las secciones de aforo seleccionadas para el trabajo de evaluación del desarenador son mostradas en la Lámina N° 8, asimismo se muestran los puntos en donde se midieron las velocidades, los cuales están ubicados en la intersección de las 3 verticales de medición cuya separación entre si es 2.40 m. con los 6 niveles que están separados 1.60 m., coincidiendo con el centro del cuadrado de la tabiquería.

5.3.2 DETERMINACION DE LAS VELOCIDADES

Las velocidades de flujo en los puntos seleccionados fueron determinadas indirectamente con el empleo del correntómetro tal como se describió en el acápite N° 3.3.2. Los Cuadros N° 2 y 3 muestran los tiempos promedios correspondientes a las mediciones de cada 5 vueltas efectuadas por la hélice.

De acuerdo al acápite N° 3.3.2., los tiempos determinados con el correntómetro, deben ser evaluados en la fórmula de calibración del equipo para determinar la velocidades. En el presente trabajo se utilizaron 2 correntómetros Gurley uno para el ingreso y otro para la salida de las naves, sus fórmulas son mostradas en la Tabla N° 5.3.2, y los resultados mostrados en los Cuadros N° 4 y 5.

TABLA N° 5.3.2

FORMULA DE CALIBRACION DE LOS CORRENTOMETROS UTILIZADOS

| UBICACION | CORRENTOMETRO | FORMULA DE CALIBRACION |
|---------------|---------------|------------------------|
| INGRESO NAVES | TE 0617 | $0.6668 N + 0.013$ |
| SALIDA NAVES | TY 1295 | $0.6732 N + 0.015$ |

La manipulación del equipo medidor de las orientaciones son descritas en el acápite N° 4.2, los resultados de las mediciones son mostrados en los Cuadros N° 6, 7 y 8, que han sido calculados de acuerdo a lo indicado el acápite N° 4.3.

El Cuadro N° 6 es una hoja de información que verifica la existencia de flujos no normales a la sección de medición, mientras que los Cuadros N° 7 y 8 corresponden a las orientaciones que corregirán a las velocidades e indirectamente a los caudales que han sido calculadas según lo descrito en el acápite N° 3.3.3.

Conocidas las velocidades y sus respectivas orientaciones, se corregirán éstas de acuerdo a lo descrito en el acápite N° 4.4, siendo los resultados los mostrados en los Cuadros N° 9 y 10.

5.3.3 DETERMINACION DE LOS CAUDALES

Para la determinación de los caudales se deben conocer los valores de las velocidades y su área de influencia, para el cálculo de ésta última se requiere definir los límites del área mojada de la sección de medición.

El área mojada está limitada en la derecha e izquierda por las paredes de las naves, en la parte superior por el espejo de agua cuyos niveles son mostrados en el Cuadro N° 11 y, en la parte inferior por la línea horizontal que pasa por la cota 1800.55 m.s.n.m., que separa la poza de decantación de la poza de acumulación, ver lámina N° 7.

Definidos los límites del área mojada en las naves del desarenador se calculan las áreas de influencia para las velocidades encontradas en las secciones de aforo tal como se describió en el acápite N° 3.3.3, los resultados se muestran en el Cuadro N° 12 y en las Láminas N° 9 al 13.

Conocidas las velocidades, su área de influencia y las orientaciones de las velocidades se procede a calcular los caudales. Los Cuadros N° 13 y 14 muestran el resumen de las velocidades y caudales con y sin la corrección por la orientación de las velocidades.

Las orientaciones (α) que experimenta el flujo respecto a la normal de la sección de medición son determinadas aplicando la función arco coseno de la relación caudal corregido respecto al caudal sin corregir, ver ecuación

5.3.3.1. En la práctica esto equivale a que el fluido se desplace en un nuevo canal cuya sección transversal tenga una orientación α respecto al eje longitudinal del canal.

$$\alpha = \arccos\left(\frac{Q \text{ corregido}}{Q \text{ sin corregir}}\right) \dots\dots(5.3.3.1)$$

Con la información existente en los Cuadros N° 13 y 14 se realiza la aplicación de la ecuación 5.3.3.1 y los resultados de esta operación son mostrados en los Cuadros N° 15 y 16, observándose que la orientación total al ingreso del desarenador es de 49° 11' 03" mientras que a la salida de 52° 14' 06", con estos resultados queda demostrado que el flujo no sigue una dirección normal a las secciones de aforo tal como se suponían.

Los porcentajes de corrección por efectos de la orientación del flujo con los que se deben afectar a las velocidades y caudales medidos se obtienen de la Lámina N° 2, así al ingreso y a la salida del desarenador se determina que los caudales totales registrados indirectamente con el correntómetro deben ser corregidos en 34.5% al ingreso y 37.5% a la salida para encontrar las reales; estas correcciones también se verifican

al comparar los caudales totales corregidos con los no corregidos, ver Cuadro N° 17.

Las descargas totales así corregidas en el desarenador resultan más próximas a las registradas en la Casa Máquina; siendo éstas de 29.63 m³/s y 28.39 m³/s para los días 10 y 11 de Junio de 1993, respectivamente, obtenidas en forma indirecta de la producción de energía eléctrica de la Central, ver Cuadro N° 18.

Al comparar los gastos del desarenador con los determinados en la Casa Máquina, se observa que el caudal total sin corregir al ingreso del desarenador es un 42.80% mayor que el registrado en la Casa Máquina y que a la salida resulta mayor en un 32.73%. Cuando los caudales son corregidos el promedio total al ingreso es 12.60% mayor, mientras que a la salida es 7.75% menor, ver Cuadro N° 19, estos últimos valores están cercanos o dentro del rango de 10% de error en el uso del correntómetro.

5.4 CURVAS DE ISOVELOCIDADES

Las curvas isovelocidad son elaboradas con el objeto de determinar la distribución de la velocidad en la sección de aforo, con ellas también es posible calcular el gasto que tr nsita por dicha sección, para lo cual habrá que determinar el área entre dos curvas continuas y luego se multiplica por la media de las velocidades que la limitan.

Para el presente tema de investigación, las curvas isovelocidad se elaboran con las velocidades con y sin corregir en las secciones ingreso y salida de las naves, ver Láminas N  15 al 34, para lo cual se recurre a la información de los Cuadros N  4, 5, 9, y 10.

Al analizar los gráficos de isovelocidad se observa que existen diferencias entre los corregidos y los no corregidos, por ejemplo en la nave 2, las velocidades sin corregir son positivas y cuando éstas son corregidas se obtienen valores negativos, tal como se observa desde el nivel 4 hasta la superficie, ver Lámina N  14 y 14.a.

En las zonas que se producen velocidades negativas, el agua en vez de ingresar por la sección de medición est  saliendo de ella, verificándose de esta manera un flujo en contracorriente. Para estos casos si no se realiza la corrección de la velocidad el caudal para dichas zonas presentaría un error de entre 100 % y 200% del real existente en esos momentos.

5.5 DISTRIBUCION VERTICAL DE VELOCIDADES

La distribución vertical de las velocidades elaboradas en esta investigación relacionan la variación de la velocidad con la profundidad tanto al ingreso como a la salida del desarenador; de esta manera se obtiene una información con la cual se puede analizar el comportamiento del agua a su paso por las secciones de aforo.

Con la información registrada en los Cuadros N° 4, 5, 9 y 10 se elaboran los perfiles de velocidad para las verticales de cada sección de medición: se observan en algunos casos velocidades negativas, como por ejemplo al ingreso de la nave 2, eje 3, nivel 2 del día 10 de Junio de 1993, la velocidad corregida es -0.14 m/s, ver Cuadro N° 9 y Láminas N° 47; en otros casos se determinan velocidades casi nulas, debido a que la orientación del flujo es aproximadamente de 90° , este hecho por ejemplo ocurre al ingreso de la nave 3, eje 3 y nivel 2 del día 11 de Junio, siendo la velocidad sin corregir de 0.22 m/s y la corregida de 0.02 m/s, ver Lámina N° 35.

En todos los casos la velocidad normal a la sección de medición resulta ser menor a la calculada inicialmente con el correntómetro, debido a que ésta presenta una orientación diferente a la supuesta, ver Lámina N° 35.a.

Para tener una idea más clara del comportamiento del agua en las secciones de mediciones, se muestran los perfiles de velocidades corregidas y no corregidas en las Láminas N° 36 al 55.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- a) El ingreso y salida del Desarenador de la C. H. Cañón del Pato muestra una geometría que aparentemente favorece un flujo ordenado y unidireccional, pero en la práctica se generan contracorrientes y corrientes cruzadas que afectan los aforos realizados con correntómetros.

- b) El equipo diseñado para medir la orientación de las velocidades permite encontrar las magnitudes de los componentes de la velocidad en la dirección normal a la sección de aforo.
- c) De no medirse la orientación del flujo pueden producirse errores en los cálculos de la velocidad y el caudal hasta de un 200%, ver cuadro C1.

Cuadro C1

| RANGO DE LA ORIENTACION DEL FLUJO | RANGO DE ERROR (%) |
|-----------------------------------|--------------------|
| 0° | 0 |
| 0° - 90° | 0 - 100 |
| 90° | 100 |
| 90° - 180° | 100 - 200 |
| 180° | 200 |

Así, cuando la orientación del flujo respecto a la normal de la sección de aforo es menor de los 90°, la velocidad normal es menor a la registrada con el correntómetro; y cuando el ángulo es mayor de los 90°, presenta velocidades negativas siendo este el caso de un flujo en contracorriente.

- d) La distribución vertical de la velocidad en forma teórica es ajustable a una curva exponencial, pero por los efectos locales como los que se producen en el Desarenador de la C. H. Cañón del Pato distorsiona su distribución, lo que afecta el proceso de sedimentación en las naves y por lo tanto la eficiencia de dicho desarenador.

- e) La información proporcionada por el equipo puede ser empleado en trabajos de investigación de escala real o reducida en laboratorio sin la necesidad de realizar una posterior corrección por efecto de escala.

- f) En la investigación específica, el uso del equipo medidor de las orientaciones determinó que el flujo en las naves del desarenador de la C.H. Cañón del Pato no son normales a las secciones de aforo, pues éstos presentaban una orientación promedio para el gasto total de $49^{\circ} 11' 03''$ al ingreso y $52^{\circ} 14' 06''$ a la salida, por lo que se tuvo que corregir los caudales en 34.5% al ingreso y 37.5% a la salida.

- g) La corrección del gasto en el desarenador de la C. H. Cañón del Pato permitirá determinar en forma más precisa las concentraciones de sólidos, que es justamente el parámetro con que se evalúa la eficiencia del desarenador.

6.2 RECOMENDACIONES

- a) Utilizar en lo posible el equipo medidor de las orientaciones del flujo complementariamente al correntómetro.
- b) Ubicar la sección de aforo en una zona cuyas características físicas del cauce tanto aguas arriba como aguas abajo no produzcan distorsiones en las orientaciones de las líneas de corriente.
- c) Colocar el equipo medidor de las orientaciones de tal manera que la línea $0^\circ - 180^\circ$ de su transportador quede alineado con la normal de la sección de medición.
- d) Las características volumétricas como la forma geométrica del eje orientador y la aleta del equipo medidor de la orientación del flujo deberá ser tal que evite la formación de corrientes extrañas en la zona de medición.
- e) Realizar estudios del equipo medidor de las orientaciones en lo referente a los errores sistemáticos que este pueda presentar.
- f) Verificar en cauces naturales la aproximación de las mediciones en correntómetro utilizando el equipo de corrección del ángulo de incidencia.
- g) Extender la utilización de este equipo en los ensayos de modelos reducidos.

BIBLIOGRAFIA

- Elementos de la Mecánica de los Fluidos
Jhon K. Vennard
México - Junio 1962

- Estudio en Prototipo del Desarenador de la Central
Hidroeléctrica del Cañón del Pato
Informe Técnico - Laboratorio Nacional de Hidráulica
Lima - Perú - Setiembre 1993

- Hidrología, para Estudiantes de Ingeniería Civil
Chereque Morán, Wendor
Lima - Perú - 1989

- Transporte de Sedimentos Aplicado al Diseño de
Estructuras Hidráulicas
Rocha Felices, Arturo
Lima - Perú - CIP - 1990

- Mecánica de los Fluidos
Victor L. Streeter - E. Benjamin Wylie
New York - EE.UU. - 1963

- Hidráulica de Canales
Ven Te Chow.
New York - EE. UU. - 1964

- Nuclear Well Logging in Hydrology
International Atomic Energy Agency, Technical Reports
Series N° 126
Vienna, 1971

- Estudio de la Eficiencia del Desarenador de la Central
Hidroeléctrica Cañón del Pato.
Ponencias del X Congreso de Ingeniería Civil.
Lima-Perú 1994