

**AFORO DE COLECTORES METODO DE MEDICION MANUAL  
(NO INSTRUMENTAL)**

**JULIO CESAR DE LOS RÍOS ZORRILLA  
INGENIERO SANITARIO**

**LIMA, MAYO DEL 2000**

## **RESUMEN**

El presente trabajo explica la metodología de trabajo para realizar mediciones de caudales en conductos abiertos y en colectores de alcantarillado mediante la aplicación de métodos manuales, en reemplazo de métodos instrumentales.

Se incluye una breve explicación de los métodos usados, la explicación del método manual, tablas (Anexos) de ayuda, así como fotos referenciales de algunos de los equipos usados aplicando instrumentos registradores.

Dirección: [jdelosri@amauta.rcp.net.pe](mailto:jdelosri@amauta.rcp.net.pe)

**Título del trabajo: AFORO DE COLECTORES METODO DE MEDICION MANUAL  
(NO INSTRUMENTAL)**

**Autor: JULIO CÉSAR DE LOS RÍOS ZORRILLA**

Curriculum Vitae: Ingeniero Sanitario, Universidad Nacional de Ingeniería Lima Perú año 1971. Laboró como Ingeniero Sanitario en ejecución, control de proyectos y supervisión de obras de saneamiento en las siguientes compañías en el Perú: Corporación Hidrotécnica, Ministerio de Vivienda y Construcción en el Proyecto Experimental de Vivienda PREVI, Instituto Nacional de Investigaciones Energéticas INIE-ELECTROPERU. En el exterior: En Venezolana de Saneamiento SANEAVEN, Venezuela. En el Servicio De Agua y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL). En la actualidad se desempeña como Consultor Privado

País : PERÚ.

## AFORO DE COLECTORES METODO DE MEDICION MANUAL (NO INSTRUMENTAL)

### INTRODUCCIÓN

El aforo de canales y redes colectoras de desagüe es imprescindible cuando se trabaja en el mantenimiento y operación de redes puesto que nos da una visión inmediata de lo que está sucediendo en el área de drenaje que está estudiando.

Cuando no se cuenta con datos de consumos de agua o se quiere cuantificar volúmenes de descargas de áreas de drenajes nuevas, es aplicable el aforo de colectores para el primer caso como un método para inferir el consumo de la población involucrada y en el segundo caso conocer por medición directa, los volúmenes de descarga en periodo determinado.

Cuando no se cuenta con medidores automáticos de caudales, la medición de tipo manual es de gran ayuda para la obtención de datos que nos sirvan para cuantificar y tomar decisiones.

Bajo el punto de **vista práctico** el margen de error entre la medición utilizando equipos automáticos y las mediciones de tipo manual no es significativo, teniéndose como único inconveniente el uso intensivo de personal y una supervisión constante para evitar al máximo errores de tipo humano.

La finalidad del presente documento es describir la metodología para el aforo de colectores mediante el uso de medición de tipo manual.

La medición de caudales en conductos que trabajan como canal, se efectúa tomando en consideración las características topográficas del tramo seleccionado para realizar el aforo, velocidad del flujo, clase de material y estado de limpieza del conducto.

Para el aforo de colectores de desagües se toma las mismas consideraciones que para conductos que funcionan a gravedad.

### DESCRIPCIÓN DE ALGUNOS MÉTODOS DE AFORO

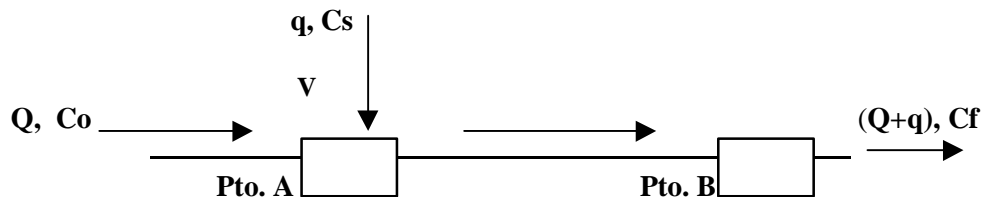
Dentro de los métodos conocidos para la medición de caudales se encuentran los que emplean trazadores y los que hacen uso de la hidráulica.

#### **a).-Uso de trazadores:**

Consiste en la adición de una solución trazadora de concentración  $C_s$  y gasto  $q$  constantes, a un conducto donde fluye un caudal  $Q$  con una concentración inicial de la solución trazadora  $C_o$ .

Se monitorea la concentración final de la solución trazadora  $C_f$  aguas abajo de donde se produce la mezcla de los caudales  $q$  y  $Q$

Obtenidos los valores de  $C_o$  y  $C_f$  conociendo  $q$ , por un simple balance de masas se puede determinar el gasto  $Q$  en la estructura principal.



$$Q C_o + q C_s = (Q+q) C_f$$

Despejando Q se obtiene:  $Q = (q ( C_s - C_f ) / ( C_f - C_o ))$

El análisis de la concentración de la solución trazadora  $C_o$  y  $C_f$  se realizará periódicamente, la finalidad es obtener un número aceptable de datos con que se puedan determinar las variaciones diarias de gastos, y establecer los gastos máximo, mínimo y promedio.

Puede utilizarse como solución trazadora, salmuera u otros productos que tengan características específicas tales como el de ser estable y que no produzcan combinaciones químicas que distorsionen el análisis y lectura de la concentración final.

El método es práctico cuando la medición de caudales no puede realizarse por el método hidráulico debido a no cumplirse con las condiciones básicas para la utilización de la fórmula de Manning.

En otros campos de medición, el uso de trazadores se utiliza para la calibración de estructuras hidráulicas tal como medidores Parshalls, así como para analizar la distribución de caudales dentro de unidades de tratamiento<sup>(4)</sup>.

#### **b).- Aplicación hidráulica:**

El método consiste en obtener datos básicos para utilizar la fórmula de Manning para el cálculo de caudales en conductos que trabajen a gravedad.

Los datos preliminares necesarios para determinar si el punto seleccionado cumple con las condiciones para la utilización de la fórmula de Manning son, velocidad del flujo, diámetro, tirante o altura de agua en el conducto y pendiente del tramo escogido.

En el **Anexo N° 3** se explica la forma de realizar aforos en colectores.

### **CÁLCULOS DE VELOCIDADES**

La velocidad se puede obtener por los siguientes métodos:

#### **a). Uso de flotadores:**

Consiste en hallar la relación longitud entre tiempo, determinando el tiempo que demora un flotador en recorrer una longitud determinada: en el caso de colectores es conveniente tomar la velocidad en el tramo donde se realizara el aforo.

Existen distintos tipos de flotadores entre los cuales se encuentran los de superficie o simples, dobles o sub superficiales y flotadores lastrados<sup>(5)</sup>.

#### **b.- Usos de trazadores:**

Con este método primero se determina el gasto usando el mismo criterio descrito para la medición de caudales mediante trazadores, en necesario también establecer el tirante de agua en el conducto.

La velocidad V se obtiene de la fórmula que relaciona el gasto Q y el área mojada A :

$$V = \frac{Q}{A}$$

**c.- Uso de instrumental :**

- El uso de equipos instalados dentro de los conductos tales como los registradores magnéticos y molinetes.
- Los instalados externamente como los flujómetros ultrasónicos y los que utilizan el efecto Doppler que dan lecturas de instantáneas tirantes y de velocidad que pueden ser utilizadas directamente.

**CALCULO DE TIRANTES EN COLECTORES**

La medición de tirantes de agua en el conducto puede obtenerse manualmente o mediante instrumental que registra automáticamente los datos, en ambos casos los registros se procesan para aplicarlos en la fórmula de Manning.

**a). El método manual** se efectúa midiendo físicamente el tirante de agua sobre el fondo del conducto, utilizándose para tal fin tubos o reglas graduadas.

Es importante verificar que no se produzca resalto en el momento de contacto de la regla con el agua, para evitar distorsión en la lectura del tirante.

**b). El método instrumental** consiste en instalar un registrador automático por encima del nivel del agua, en colectores se instala dentro de un buzón o boca de inspección, las variaciones de altura de agua sobre la tubería son registradas en una carta, programándose la duración de la medición generalmente por 24 horas o por siete días ininterrumpidos.

Los más modernos medidores registradores trabajan mediante ultrasonido y algunos utilizando el efecto Doppler y su grado de precisión en la obtención de información es alto, algunos de estos equipos tienen la capacidad de soportar dispositivos que pueden medir parámetros físico químicos, que son de gran utilidad para efectuar control de calidad así como para determinar la caracterización de las aguas. A modo de Referencia en las **Figuras N<sup>os</sup> 1, 2 y 3** se muestran algunas fotografías de equipos y su instalación.

## MÉTODO MANUAL USADO PARA LA DETERMINACIÓN DE GASTOS EN CONDUCTOS ABIERTOS Y EN COLECTORES

La metodología que a continuación se describe es gráficamente complementada con la ilustración mostrada en el **Anexo N° 3**.

Los pasos a seguir son los plasmados en el **Anexo N° 1 (Util para procesar pasos del 1 al 5)**

1. Seleccionar un tramo del colector entre dos buzones contiguos, que no reciban descargas de otros colectores, que no tengan cambios de pendiente pronunciadas ni buzones que tengan diferencia de cota entre la tubería de ingreso y salida. La finalidad es que la vena del flujo sea lo más uniforme posible. **En lo posible realizar la limpieza del conducto antes de empezar a efectuar cualquier medición.**
2. Se mide el diámetro de la tubería en el punto donde se realizará el aforo.
3. Se determina la pendiente topográfica del tramo escogido.
4. Se mide la velocidad de la corriente utilizando el método más conveniente (flotadores, trazadores, etc. ); simultáneamente se mide el tirante del agua en la tubería.
5. Se procesa los valores obtenidos de pendiente **S**, velocidad **V**, diámetro **D** y el tirante **d**, aplicándose las **relaciones hidráulicas proporcionales de tuberías a sección plena d/D, R/D**, obteniéndose el radio medio hidráulico. Se aplica la fórmula de Manning para hallar experimentalmente el coeficiente de rugosidad **n**.

### NOTA IMPORTANTE

**No se debe asumir el valor típico del coeficiente de rugosidad n del material del conducto, este valor debe ser encontrado experimentalmente. Caso contrario, los resultados finales encontrados no tendrán ninguna relación con la realidad.**

En esta etapa del cálculo se determina **n** y **V** en función al radio medio hidráulico:

$$n = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{V} \quad \text{y,}$$

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

6. Para la obtención de los gastos ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) en el colector se procede a medir y anotar los tirantes de agua en la tubería cada 15 minutos durante 24 horas continuas como mínimo, simultáneamente se anota en el registro la hora en que se realiza la medición. Los registradores automáticos de flujo, registran automáticamente los tirantes y la hora en forma continua.
7. Los datos obtenidos son volcados en una hoja para su registro y procesamiento en gabinete.
8. En el **Anexo N° 2** se muestra una Matriz para ser utilizada en el cálculo de aforo de colectores, la primera fila indica el nombre de cada columna, la segunda fila señala el parámetro utilizado, la tercera fila indica si el parámetro es obtenido directamente por medición en el campo o es obtenida de tablas hidráulicas. (Tablas de elementos proporcionales para conductos a sección plena), la cuarta fila indica la relación de una columna con respecto a otras columnas.

**ANEXO N° 1**

**PRUEBA DE FLUJOS EN AGUAS RESIDUALES**

**COLECTOR:** \_\_\_\_\_

**UBICACIÓN DEL BUZON:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**DIÁMETRO D:** \_\_\_\_\_

**DISTANCIA ENTRE BUZONES:** \_\_\_\_\_

**DIFERENCIA DE NIVELES:** \_\_\_\_\_ **PENDIENTE:**

\_\_\_\_\_

**MEDICIÓN DE VELOCIDAD**

<b>FECHA</b>	<b>TIEMPO s.</b>	<b>VELOCIDAD V m/s</b>	<b>TIRANTE d en metros</b>

**DE TABLAS HIDRÁULICAS DE GASTO PROPORCIONAL PARA TUBERÍAS PARCIALMENTE LLENAS**

**d/D =** \_\_\_\_\_ **DE TABLAS HIDRAULICAS: R/D=** \_\_\_\_\_, **R<sup>2/3</sup>=** \_\_\_\_\_

**S =** \_\_\_\_\_ **S<sup>1/2</sup>=** \_\_\_\_\_

**DE FORMULA DE MANNING:**

**n= (1/V) R<sup>2/3</sup> S<sup>1/2</sup>** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**V= (1/n) R<sup>2/3</sup> S<sup>1/2</sup>**

**V=(CTE)\*R<sup>2/3</sup>**

**OBSERVACIONES:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**ANEXO N° 2**

**MATRIZ PARA EL CALCULO DE AFORO EN COLECTORES**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Tiempo	Periodo	Tirante d	Diámetro D	d/D	$A/D^2$	R/D	Área A	Radio Medio Hidráulico R	Radio Medio $R^{2/3}$	Velocidad V	Gasto	Volumen
DATO	DATO	DATO	DATO	CALCULO C/D	TABLA	TABLA	CALCULO $F * D^2$	CALCULO $G * D$	CALCULO $I^{2/3}$	CALCULO $(CTE) * J$	CALCULO $H * E$	CALCULO $B * L$
				<b>&lt;-----TIEMPO TOTAL AFORADO</b>				<b>SUMATORIA DE VOLÚMENES -----&gt;</b>				

GASTO PROMEDIO= (SUMATORIA DE VOLUMENES DE LA COLUMNA M) / (TIEMPO TOTAL AFORADO)  
 GASTO MAXIMO = EL GASTO MAXIMO DE LA COLUMNA L  
 GASTO MINIMO = EL GASTO MINIMO DE LA COLUMNA L

**NOTAS:**

(1) CALCULO INICIAL PARA INGRESAR A LAS TABLAS DE GASTOS PROPORCIONALES PARA OBTENER LOS VALORES DE LA COLUMNA F Y G  
 (CTE) ES EL VALOR OBTENIDO DEL ANEXO 1 DEL DATO FINAL  $V=(CTE)*R^{2/3}$   
 PERIODO ES LA DIFERENCIA DE TIEMPO ENTRE CADA TOMA DE DATOS (TIRANTES)

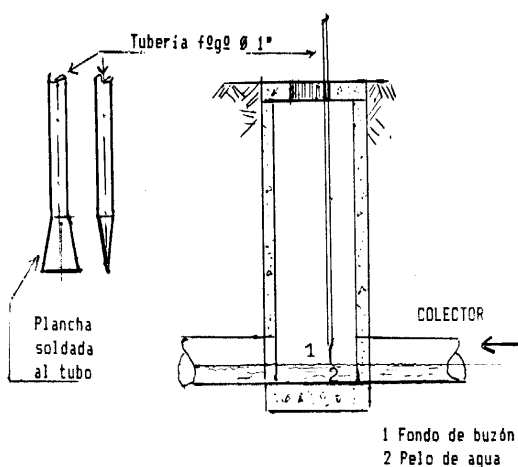
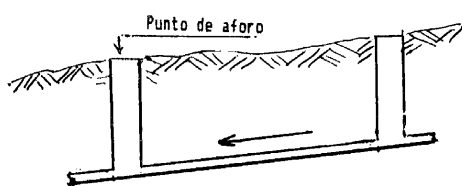
### ANEXO N° 3

#### **AFORO DE COLECTORES**

#### **OBJETO**

##### **Instrumentos necesarios**

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nivel topográfico, mira</li> <li>2. Flotadores, bolsas plásticas, color rojo o naranja.</li> <li>3. Cronómetro</li> <li>4. Tubo con punta chata.</li> <li>5. Metro</li> <li>6. Linternas.</li> <li>7. Tranqueras y mecheros.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. (1) y (5) Medir pendiente del tramo donde se realizará el aforo.</li> <li>2. (2) y (3) Medir velocidad del flujo para determinar constantes hidráulicas.</li> <li>3. (4) y (5) Medir alturas del tirante de agua en el punto elegido para el aforo.</li> <li>4. (6) Lectura nocturna de niveles.</li> <li>5. (7) Protección de seguridad.</li> </ol> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



Medida la pendiente y la velocidad del flujo, se procede a medir la altura del nivel de agua (tirante) y la hora en que se realiza la operación.

Previamente se medirá la profundidad del buzón donde se realizará el aforo (En el buzón aguas abajo), teniéndose un punto fijo de referencia para la medición de tirantes.

Cada 15 minutos se medirá la altura de agua y se anotará la hora respectiva.

	1	2	3	(2-3)	
Hora	Prof.	Altura	Tirante		
	CTE.				
	CTE.				
	CTE.				
	CTE.				

El tiempo del aforo será de 24 horas continuas como mínimo, lo recomendable es 7 días

**FIGURA N° 1 INSTALACION DEL MEDIDOR MODELO MANNING**

Medidor registrador automático: Mediante un sensor que se mueve con el pelo del agua determina el tirante, se tiene que determinar por otros métodos la velocidad del agua en el conducto para efectuar los cálculos de caudales. Existen otros modelos medidores digitales que tiene gran autonomía de trabajo



*Paso N° 01*



*Paso N° 02*



*Paso N° 03*



*Paso N° 04*

**FIGURA N°2 INSTALACION DEL MEDIDOR MODELO SIGMA 950**

Medidor registrador automático de datos, utiliza el ultra sonido para determinar las altura (tirantes de agua) y el efecto Dopler para determinar la velocidad. El aro que se muestra se instala en la boca del tubo, agua arriba en el buzón donde se efectua el aforo. Es autónomo y versátil, existen algunos inconvenientes cuando la velocidad en el conducto es muy alta .



◦ *Instalación del sensor de velocidad.*



◦ *Instalación del sensor ultrasónico*

### FIGURA N° 3 INSTALACION DENTRO DEL BUZON

La instalación de cualquier equipo registrador implica actividades que son propias de cada equipo, en las fotografías se muestran algunas actividades que podrían considerarse comunes a cualquier de ellos, existiendo lógicamente particularidades al respecto.



Alineación del adaptador dentro del buzón.



Nivelación del adaptador y el sensor de nivel para la instalación del medidor.

## **BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS**

1. **PHILIP JEFFCOATE Y ARUMUKHAM SARAVANAPAVAN** - La reducción y el control de agua no contabilizada. Pag. 42. Documento Técnico del Banco Mundial Número 72s. Washington 1989.
2. **JAPAN INTERNACIONAL COOPERATION AGENCY (JICA)** - The feasibility study on the improvement of sewerage system in southern part of Lima. Lima Marzo 1990.
3. Item 1 pag. 44.
4. **ING. JOSE M. PÉREZ CARRION** - Manual de Instrucción. Uso de trazadores para medición de flujos de plantas de tratamiento de agua. Programa Regional OPS/EHP/CEPIS de mejoramiento de calidad de agua para consumo humano. Lima 1982.
5. **JOSÉ M. DE AZEVEDO NETTO Y GUILLERMO A. ALVAREZ** - Manual de hidráulica sexta edición. Volumen II , pag. 480. Sao Paulo 1973.
6. **AUGUSTO ZACARIAS CORDOVA** - Aforos de colectores. División de Colectores Primarios del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima SEDAPAL.