

MANUAL DE LABORATORIO DE: RIEGOS Y DRENAJES (ING. CIVIL)



Segundo Semestre 2025.

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES

DÍA	HORARIO	ACTIVIDAD
Lunes	08:00-12:00	Practica 1: Aforo de caudales
Martes	08:00-12:00	Practica 2: Cantidad de agua residual
Miércoles	08:00-12:00	Práctica 3: Diseño de Drenaje Sanitario
Jueves	08:00-12:00	Práctica 4: Caudal Pluvial

Nota: Las hojas de trabajo contarán como asistencia del día

Materiales necesarios para las prácticas de Riegos y Drenajes

Práctica	Material
1	Cubeta de volumen conocido (20 Litros) Cronómetro Hojas de papel Calculadora Lápiz Borrador Sacapuntas
2	Lápiz Borrador Sacapuntas Calculadora Hojas de papel
3	Hojas de papel Calculadora Lápiz Borrador Sacapuntas
4	Hojas de papel Calculadora Lápiz Borrador Sacapuntas

INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LAS PRÁCTICAS

Para la realización adecuada de las prácticas deberán atenderse las siguientes indicaciones:

1. Presentarse puntualmente a la hora del inicio del laboratorio y permanecer durante la duración de este.
2. Realizar las actividades y hojas de trabajo planteadas durante la práctica.
3. Participación y cuidado de cada uno de los integrantes del grupo en todo momento de la práctica.
4. Conocer la teoría (leer el manual antes de presentarse a cada práctica).
5. **No se permite el uso de teléfono celular dentro del laboratorio**, Si tiene llamadas laborales deberá atender las mismas únicamente en el horario de receso.
6. Si sale del salón de clases sin la autorización del docente perderá el valor de la práctica.
7. No puede atender visitas durante la realización de la práctica.
8. El horario de receso es únicamente de 15 minutos.
9. Respeto dentro del laboratorio hacia los catedráticos o compañeros (as).

La falta a cualquiera de los incisos anteriores será motivo de una inasistencia.

Considere que se prohíbe terminantemente comer, beber y fumar. Éstos también serán motivos para ser retirado de la práctica.

Recuerde que para tener derecho al puntaje y aprobar el curso deberá presentarse a las prácticas y realizar las evaluaciones en línea, las cuales estarán habilitadas del **27 de octubre 2025 a las 8:00 al 31 de octubre 2025 a las 18:00.**

INFORME DE PRÁCTICA

Las secciones de las cuales consta un informe, el punteo de cada una y el orden en el cual deben aparecer son las siguientes:

- a) Resultados
- b) Resumen de la práctica
- c) Conclusiones

Si se encuentran dos informes parcial o totalmente parecidos se anularán automáticamente dichos reportes.

- a. **RESULTADOS:** Es la sección en la que se presentan de manera clara y objetiva los datos obtenidos a partir de la práctica realizada.
- b. **RESUMEN DE LA PRÁCTICA:** Esta sección corresponde al contenido del informe, aquello que se ha encargado realizar según las condiciones del laboratorio.
- c. **CONCLUSIONES:** Constituyen la parte más importante del informe. Son las decisiones tomadas, respuestas a interrogantes o soluciones propuestas a las actividades planteadas durante la práctica.

DETALLES FÍSICOS DEL INFORME

- El informe debe presentarse en hojas de papel bond tamaño carta.
- Cada sección descrita anteriormente, debe estar debidamente identificada y en el orden establecido.
- Todas las partes del informe deben estar escritas a mano **CON LETRA CLARA Y LEGIBLE**, a menos que se indique lo contrario.
- Se deben utilizar ambos lados de la hoja.
- No debe traer folder ni gancho, simplemente engrapado.

IMPORTANTE:

Los informes se entregarán al día siguiente de la realización de la práctica al entrar al laboratorio **SIN EXCEPCIONES**. Todos los implementos que se utilizarán en la práctica se tengan listos antes de entrar al laboratorio pues el tiempo es muy limitado. Todos los trabajos y reportes se deben de entregar en la semana de laboratorio no se aceptará que se entregue una semana después.

PRÁCTICA NO. 1

AFORO DE CAUDALES

1. Propósitos de la práctica:

- 1.1 Conocer el método de aforo volumétrico
- 1.2 Calcular el caudal de una fuente determinada.

2. Marco teórico.

Aforos

Los aforos de caudal consisten en determinar la cantidad de agua que atraviesa una sección transversal de un cuerpo de agua en un instante de tiempo dado. Este valor permite, entre otros aspectos, conocer la disponibilidad hídrica del cuerpo de agua y constituye un dato útil para la estimación de las cargas contaminantes que transporta la corriente, sus tiempos de viaje, la calibración de los modelos hidráulicos e hidrológicos e, incluso, la prevención de desastres para zonas localizadas aguas abajo de la sección de aforo.

Para realizar un aforo, se debe efectuar el levantamiento de la sección transversal para el punto donde serán medidas las velocidades de agua, con el fin de obtener, por medio de una relación matemática simple (velocidad por área) el valor de caudal de agua; que resultará en unidades volumétricas por unidades de tiempo.

Entre los métodos más utilizados para medir caudales de agua se encuentran los siguientes:

- Métodos directos

- a) Método volumétrico

- Métodos Indirectos

- a) Método del flotador (sección mojada y velocidad media)
- b) Método de aforo por compuerta
- c) Métodos de aforo de cañería de pozos agua subterránea
- d) Métodos mediante estructuras de medida (vertederos y aforadores)
- e) Método de la sección y la pendiente (Manning)
- f) Molinete
- g) Medidor ultrasónico
- h) Aforo químico
- i) Aforo por resaltó

Métodos directos

Método Volumétrico

La aplicación de este método es para determinar caudales de manantiales, es decir caudales muy pequeños, que en proyectos de riego se utiliza para poder determinar la capacidad de un reservorio nocturno a ser almacenado con agua de manantiales.

Este método permite medir pequeños caudales de agua menores de 20 litros/segundo, como son los que escurren en surcos de riego o pequeñas acequias. Para ello es necesario contar con un depósito (balde,

tanque australiano, pileta, etc) de volumen conocido en el cual se colecta el agua, anotando el tiempo que demora en llenarse. Esta operación puede repetirse 2 ó 3 veces y se promedia, con el fin de asegurar una mayor exactitud. Se basa en medir el tiempo que demora en llenarse un balde de un volumen conocido. Al dividir la capacidad del balde (litros) por el tiempo empleado (segundos) se obtiene el caudal en l/s, como se indica en la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{\text{volumen del recipiente}}{\text{tiempo que tarda en llenarse}}$$

Donde:

Q = Caudal (l/s)

V = Volumen (l)

t = Tiempo (s)

Ejemplo 1:

Se quiere medir el caudal de agua que entrega un canal de agua. Para ello se practica el aforo volumétrico con un balde de 10 litros.

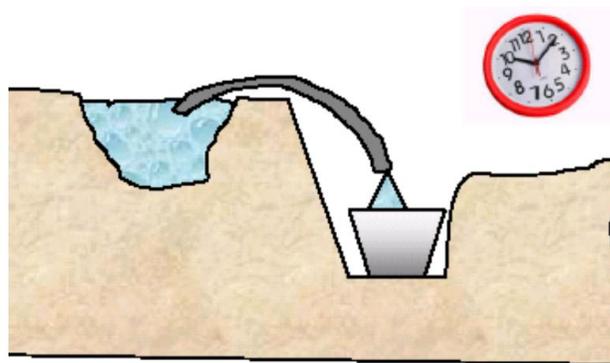


Figura. 1 método Volumétrico.

Se efectúan 3 mediciones tomado el tiempo en que llenamos el balde

Tiempo (segundos)	1º medición	2º medición	3º medición	Promedio
	5	6	4	5

Dividiendo el volumen de agua recogido en el recipiente por el tiempo (promedio) que demoró en llenarse, se obtiene el caudal en litros por segundo.

volumen del Balde :10 litros.

Tiempo promedio que demoró en llenarse: 5 segundos.

$$Q = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}} = \frac{10 \text{ litros}}{5 \text{ segundos}} = 2.0 \text{ l/s}$$

MÉTODOS INDIRECTOS

a) Método del flotador (sección mojada y velocidad media)

Este método se utiliza tanto para conocer el agua que circula en canales como en acequias de riego, dando sólo una medida aproximada de los caudales. Se presenta como una metodología sencilla de campo, pero su uso es limitado debido a que los valores que se obtienen son estimativos del caudal, siendo necesario el uso de otros métodos cuando se requiere una mayor precisión.

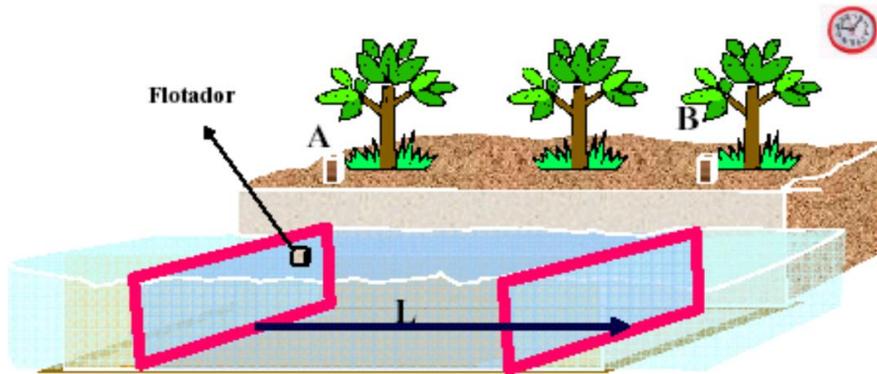


Figura. 2. Aplicación del método del flotador

Los cauces pueden tener formas geométricas bien definidas, revestidas con cemento, o bien naturales de tierra. Para determinar el caudal que pasa por ellas en este método:

$$Q = A \cdot V$$

Q = caudal que circula en el cauce de riego

A = área del perfil del cauce perpendicular a la dirección en que se mueve el agua

V = velocidad media del agua del cauce en metros/segundo

Para determinar el caudal se siguen los siguientes pasos:

Primer paso: Ubicación del lugar

Se elige una longitud "L" del cauce de riego, no inferior a 30 m, de sección uniforme, preferentemente donde no se produzcan grandes infiltraciones, se marcan los extremos de esta longitud "L" con dos estacas (puntos A y B figura 2).

Segundo paso: Determinación de la sección o superficie del cauce de riego Se determina la sección o superficie del cauce de riego en la mitad de la longitud "L". Puede medirse con una escuadra de correderas que permite medir profundidades y anchos (Figura 3).

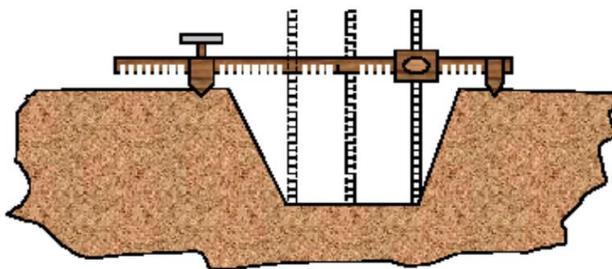


Figura. 3 medición de la sección

Tercer paso: Determinar el valor de la velocidad media del agua en el cauce de riego.

Para determinar la velocidad, por medio de flotadores sencillos: corchos, trozos de madera, etc, se obtiene la velocidad superficial, determinando el tiempo que demora en recorrer el flotador la distancia “L”, comprendida entre las estacas (punto A y B Figura 2):

$$velocidad\ superficial = \frac{distancia\ (m)}{tiempo\ (s)}$$

Se promedian varias observaciones, el valor así obtenido es la velocidad superficial del agua. Para conocer la velocidad media multiplicaremos a la velocidad superficial por un factor de corrección experimental (Fig. 4), variable de acuerdo con la condición del canal:

$$velocidad\ media = Velocidad\ superficial * c$$

Tabla II.2: Factor “c” de corrección experimental

R (m)	C de Bazin						
	K = 0,06	K = 0,16	K = 0,66	K = 0,85	K = 1,30	K = 1,75	K = 2,30
0.05	0.830	0.784	0.670	0.5634	0.478	0.466	0.346
0.10	0.840	0.804	0.717	0.628	0.548	0.487	0.420
0.20	0.845	0.821	0.756	0.682	0.614	0.556	0.495
0.30	0.849	0.828	0.772	0.709	0.649	0.596	0.535
0.40	0.850	0.830	0.783	0.726	0.971	0.622	0.565
0.60	0.852	0.837	0.796	0.747	0.698	0.655	0.603
0.70	0.853	0.841	0.804	0.761	0.717	0.678	0.629
1.00	0.854	0.843	0.810	0.771	0.730	0.693	0.645

Figura. 4. Factores de corrección

donde K representa la naturaleza de las paredes del canal y R (m) en radio hidráulico:

K = 0,06 paredes lisas conservadas de hormigón, madera o metálicas

K = 0,16 hormigón no perfectamente alisado, con salientes de mampostería de ladrillo y/o piedra tallada

K = 0,46 hormigón descuidado con algo de vegetación, aguas turbias con depósitos en las paredes. mampostería de piedra común no perfilado.

K = 0,85 tierra con sección rectangular eventualmente revestida con guijarros, poco depósito en el fondo, sin vegetación.

K = 1,30 tierra de sección rectangular, con hierbas en el fondo y matas en los taludes, limpiezas periódicas.

$K = 1,75$ tierra en malas condiciones de conservación, matas de vegetación abundante, depósitos de peñascos o guijarros, irregularidades, erosiones, conservación descuidada.

$K = 2,40$ cursos naturales de agua canales excavados en el terreno.

R (m): el radio hidráulico de un cauce es el cociente entre el área y su perímetro mojado.

Cuarto paso: Determinación del caudal que circula en el cauce de riego

El caudal que circula por el cauce de riego se determina finalmente:

$$Q = A * V$$

Q = caudal que circula en el cauce de riego

A = área del perfil del cauce perpendicular a la dirección en que se mueve el agua

V = velocidad media del agua del cauce de riego en metros/segundo

b) Vertederos

Los vertederos pueden ser definidos como simples aberturas, sobre las cuales un líquido fluye. El término se aplica también a obstáculos en el paso de la corriente y a las excedencias de los embalses, ofrecen las siguientes ventajas en la medición del agua:

- Se logra con ellos precisión en los aforos
- La construcción de la estructura es sencilla
- No son obstruidos por materiales que flotan en el agua
- La duración del dispositivo es relativamente larga

Terminología

Cresta (l): Se denomina al borde horizontal, también llamado umbral.

Contracción: Lo constituyen los bordes o caras verticales.

Carga (h): Es la altura alcanzada por el agua a partir de la cresta del vertedero. Debido a la depresión de la lámina vertiente junto al vertedero, la carga h debe ser medida aguas arriba, a una distancia aproximadamente igual o superior a $4h$.

Ancho (b): Ancho del canal de acceso al vertedero.

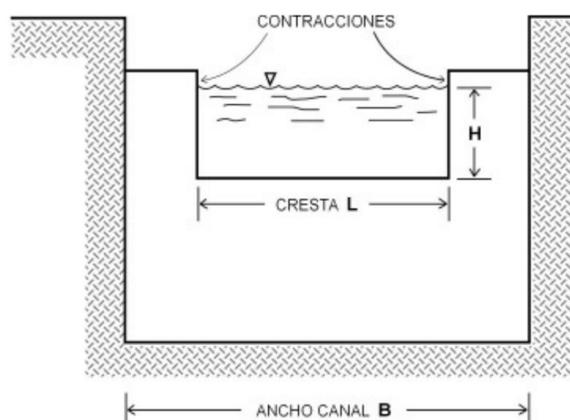


Figura. 5 partes de un vertedero

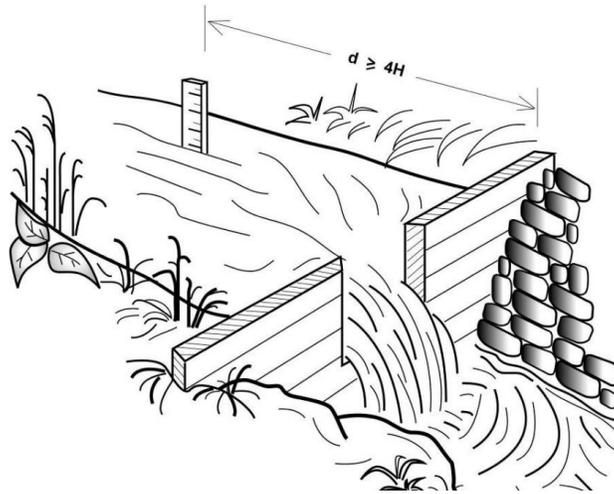


Figura. 6 vertedero en funcionamiento

○ **Vertedero rectangular**

El vertedero rectangular es uno de los más sencillos para construir y por este motivo es uno de los más utilizados.

Es un vertedero con una sección de caudal en forma de rectángulo con paredes delgadas, de metal, madera o algún polímero resistente, con una cresta biselada o cortada en declive, a fin de obtener una arista delgada. La precisión de la lectura que ofrece está determinada por su nivel de error que oscila entre un 3 y 5 %.

$$Q = 1.84 (L - (0.1 n H))H^{3/2}$$

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en m³ /s

L = Ancho de la cresta, en m

H = Carga del vertedero, en m

n = Número de contracciones (0, 1, o 2)

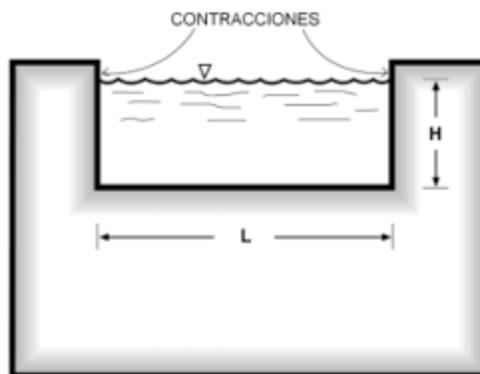


Figura. 7 Vertedero rectangular con contracciones

○ **Vertedero rectangular sin contracciones**

Es un vertedero en el cual la longitud de la cresta (L) es igual al ancho del canal de acceso (B), por lo que

teniendo un valor $n = 0$, la ecuación 1 queda de la siguiente forma:

$$Q = 1.84 * L * H^{3/2}$$

Donde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en m^3 / s

L = Ancho de la cresta, en m

H = Carga del vertedero, en m

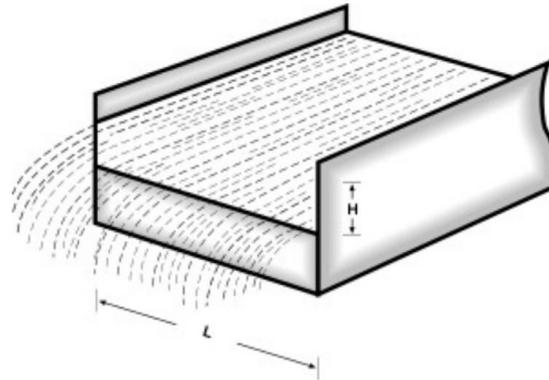


Figura. 8 Vertedero rectangular sin contracciones

o Vertedero triangular

Los vertederos triangulares permiten obtener medidas más precisas de las alturas de carga (H) correspondientes a caudales reducidos. Por lo general son construidos de placas metálicas.

En la práctica únicamente se utilizan los que tienen forma isósceles, siendo los más usuales los de 90° . Para estos vertederos se adapta la fórmula de Thomson obteniendo caudales en m^3/s :

$$Q = 1.4 * H^{5/2}$$

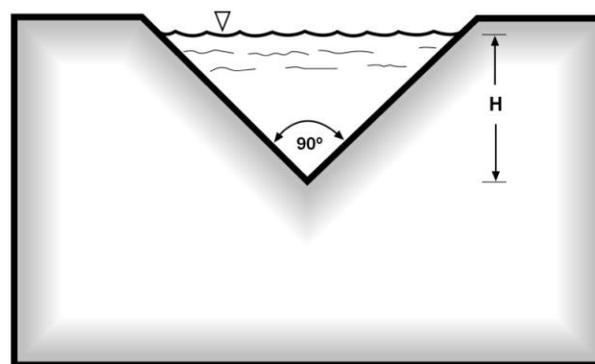


Figura. 9 vertedero triangular

o Vertedero trapezoidal

Es un vertedero como su nombre lo indica con forma trapezoidal en su abertura, también conocido como vertedero Cipolletti en honor a su inventor, el Ingeniero italiano Cesare Cipolletti.

Cipolletti procuró determinar un vertedero que compensara el decrecimiento del caudal debido a las contracciones laterales por medio de las partes triangulares del vertedero, con la ventaja de evitar la corrección en los cálculos. Para estas condiciones, el talud será 1:4 (1 horizontal para 4 vertical). Este vertedero es de construcción más dificultosa que los dos anteriores, razón por la cual es menos utilizado. Para el cálculo del caudal se utiliza frecuentemente la fórmula de Francis para m^3/s .

$$Q = 1.859 L * H^{3/2}$$

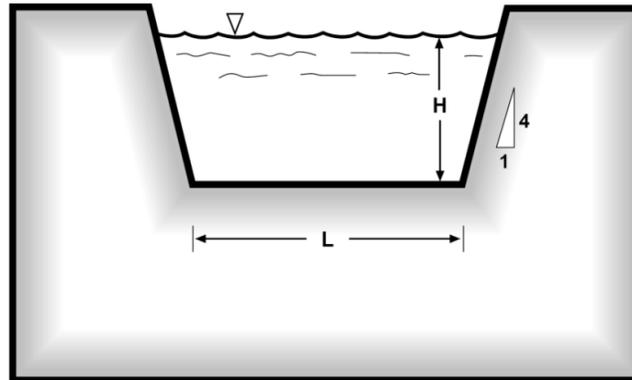


Figura. 10 vertedero trapecoidal

○ **Vertedero circular**

Su utilización es menos común que los anteriores, presentando como ventajas: la facilidad en su construcción, así como no requerir el nivelamiento de su cresta debido a su forma geométrica. Para este tipo de vertederos De Azevedo y Acosta presenta la siguiente ecuación en unidades métricas, dando caudales en m^3/s .

$$Q = 1.518 * D^{0.693} * H^{1.807}$$

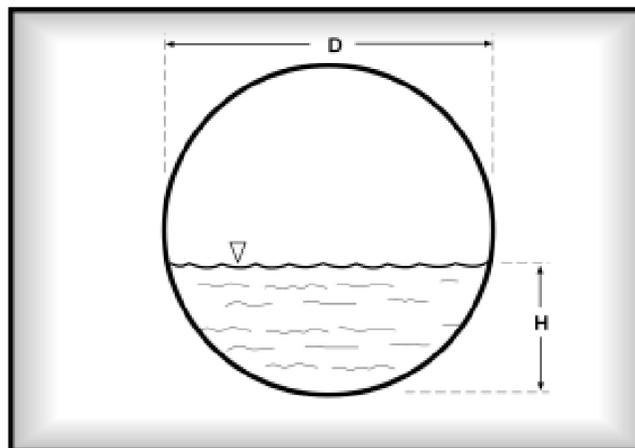


Figura. 11 vertedero circular

Práctica 1: Cálculo de caudales

Ejercicio 1:

Se desea conocer el caudal que circula en una acequia trapezoidal de hormigón que presenta las dimensiones de la Figura 12.

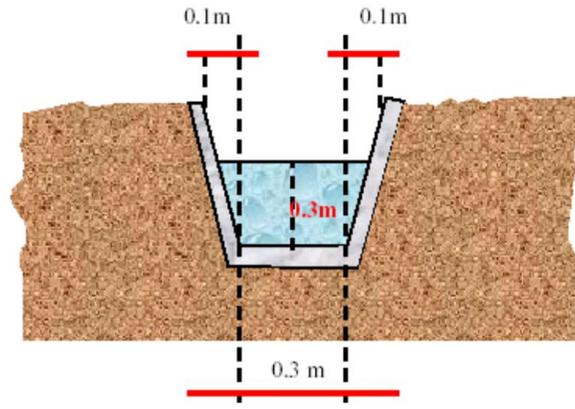


Figura. 12 ejemplo propuesto

Primer paso: Ubicación del lugar

Se elige una sobre el cauce de riego una longitud "L", no inferior a 30 m, de sección uniforme.

Segundo paso: Determinación de la sección o superficie del cauce de riego

Se determina la sección o superficie del cauce de riego en la mitad de la longitud "L". Mediante 3 posiciones de la escuadra (Figura II.5), se obtienen las medidas necesarias para calcular la sección.

Para calcular la superficie descomponemos la superficie trapezoidal del cauce en dos triángulos y un cuadrado para facilitar el cálculo:

Área del cuadrado = $L * L = 0,3 \text{ m} * 0,3 \text{ m} = 0,09 \text{ m}^2$

Área de los dos triángulos laterales = $((b * h)/2) * 2 = ((0,3 * 0,1)/2) * 2 = 0,03 \text{ m}^2$

Área Total de la sección: $0,09 + 0,03 = 0,12 \text{ m}^2$

$$\sqrt{0,3^2 + 0,1^2} = 0,316$$

Perímetro mojado: $0,316 + 0,316 + 0,3 = 0,93$

Radio hidráulico: $0,12/0,93 = 0,13$

Usando un valor de $K = 0,06$ y localizando el valor de R más cercano = $0,10$

Factor c : $0,840$

Tercer paso: Determinar el valor de la velocidad media del agua en el cauce de riego Se determina el tiempo en que un flotador tarda en recorrer los 30 m del cauce, se efectúan tres mediciones:

Tipo (segundos)	1ª Medición	2ª Medición	3ª Medición	Promedio
	60	61	59	60

$$velocidad\ superficial = \frac{30\ (m)}{60\ (s)} = 0.5\ \frac{m}{s}$$

$$velocidad\ media = 0.5\ \frac{m}{s} * 0.840 = 0.42\ \frac{m}{s}$$

Cuarto paso: Determinación del caudal que circula en el cauce.

$$Q = A * V = 0.12\ m^2 * 0.42\ m/s = 0.05\ m^3/s$$

El caudal que circula por el canal es de 0.05 m³/s

Ejercicio 2:

Materiales
Cubeta de volumen conocido (10 o 20 Litros)
Cronómetro
Lápiz
Borrador
Sacapuntas
Calculadora

Nota: el material debe ser proporcionado por el estudiante.

Procedimiento

- Identificar una fuente de agua (tubo, chorro o manguera)
- Colocar la cubeta para empezar a llenarla
- Activar el cronómetro cuando el agua empiece a ingresar en la cubeta
- Dejar llenar hasta la marca del volumen conocido
- Detener el cronómetro una vez alcanzado el volumen.
- Anotar el dato de tiempo
- Repetir el procedimiento 5 veces

Realizar este procedimiento para un volumen de 5, 10 y 15 litros.

Se deberá de multiplicar el valor del tiempo promedio por el volumen del recipiente con lo que obtendremos

el valor del caudal que nos proporciona la fuente

Reportar:

- Tiempos de llenado
- Tiempo promedio
- Valor del caudal de la fuente

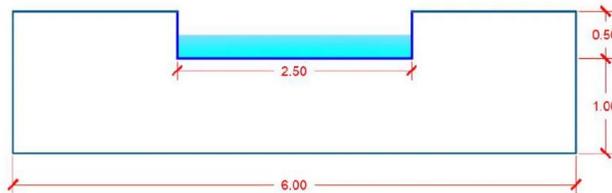
HOJA DE TRABAJO No. 1

Realizar los siguientes cálculos:

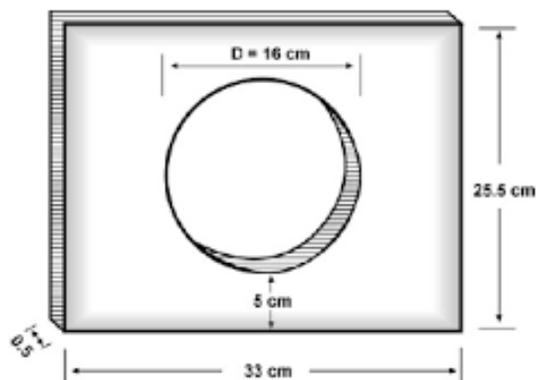
1. Calcular el caudal de una fuente que llena un recipiente de 100 litros en un tiempo promedio de 21.3 segundos
2. Convertir un caudal de 1,166.4 m³/día a L/s
3. Un recipiente cilíndrico de 60 cm de altura y radio de 30 cm, logro captar un caudal de 5.3 L/s, calcule el volumen del recipiente y el tiempo que tardó en llenarse
4. Un vertedero Cipolletti de 0.65 m de longitud de cresta y un vertedero triangular de 90° deberán instalarse en la pared de un reservorio. Se desea saber qué distancia vertical deberá haber entre la cresta del Cipolletti y el vértice del triángulo hasta que el gasto en ambos sea el mismo e igual a 725 l/s.



5. Determinar el caudal a través de un vertedero sin contracciones de 3m de largo y 1.2 m de alto, bajo una altura de carga de 0.914m.
6. Un vertedero rectangular con contracciones laterales, de 2.5 m de longitud, deja circular agua con una carga de 0.5m. Calcular el caudal.



7. Con las siguientes dimensiones determinar el caudal que circula por el vertedero circular cuando:
 - Se encuentra al 100% de su capacidad
 - Se encuentra al 50% de su altura máxima
 - Cuando H es de 10 cm



PRÁCTICA No. 2

CANTIDAD DE AGUA RESIDUAL (AGUAS NEGRAS)

1. Propósitos de la Práctica:

- 1.1 Identificar los diferentes caudales que integran el caudal de diseño para un alcantarillado sanitario.
- 1.2 Estimar la cantidad de agua residual que se conducirá por un alcantarillado sanitario.

2. Marco teórico.

Tipo de sistema a usar

En general y excepto razones especiales, en poblaciones que no cuenten con ningún sistema anterior al que se está diseñando, se proyectarán sistemas de alcantarillado sanitario del cual están excluidos los caudales de agua de lluvia provenientes de calles, techos y otras superficies.

Los sistemas se diseñarán como sistemas por gravedad, con los conductos funcionando como canales parcialmente llenos. Sin embargo, en los casos en que sea indispensable que el sistema tenga en parte un sistema de bombeo se diseñarán los colectores como sistemas por gravedad con conductos parcialmente llenos hasta la fosa de succión del equipo de bombeo. La línea de descarga del equipo de bombeo se diseñará como conducto a presión.

Periodo de diseño

Los sistemas de alcantarillado serán proyectados para llenar adecuadamente su función durante el período de 30 a 40 años a partir de la fecha en que se desarrolle el diseño.

Estimación de la población tributaria

En sistemas sanitarios combinados, la población que tributarán caudales al sistema al final del período de diseño será estimada utilizando alguno de los siguientes métodos:

- a) Incremento geométrico.
 - b) Incremento aritmético.
 - c) Incremento o porcentaje decreciente.
- Proyección gráfica "a ojo".

Estimación de las áreas tributarias

Las áreas tributarias al sistema de alcantarillado serán estimadas de acuerdo con lo siguiente:

La localidad estudiada será considerada como formando un todo con las áreas adyacentes y que sean tributarias al sistema por razones topográficas, demográficas y urbanísticas.

Deben tenerse en cuenta para el diseño, al fijar la capacidad y profundidad de los colectores, áreas de futura expansión que puedan llegar a ser tributarias al sistema.

Puntos de descarga

En la selección de los puntos de descarga se tomará en cuenta que con dichas obras no debe ocasionar problemas de carácter sanitario a las localidades situadas aguas abajo, así como que deben protegerse los usos presentes y futuros del cuerpo receptor por lo que todas las descargas deberán tener tratamiento como se especifica más adelante. Por lo anterior excepto para condiciones que no lo permitan, se deberá escoger un solo punto donde existan condiciones para la construcción de una planta de tratamiento. En el proyecto

debe indicarse lo siguiente con relación a la descarga:

- a) Nombre y descripción del elemento, la corriente o cuerpo de agua que recibirá la descarga.
- b) Descripción de sus condiciones y usos actuales y que se pueden esperar para un futuro.
- c) Caudales y niveles mínimos y de crecida máxima en los casos de cuerpos de agua.
- d) En caso de existir otras posibles alternativas para la descarga, hacer una justificación de la solución adoptada.

Consumo

El consumo es la parte del suministro de agua potable que generalmente utilizan los usuarios, sin considerar las pérdidas en el sistema. Se expresa en unidades de m³/d o l/d, o bien cuando se trata de consumo per cápita se utiliza l/hab/día. Los organismos operadores lo manejan regularmente en m³ /toma/mes

El consumo en zonas rurales varía con respecto a la región. Las condiciones climatológicas e hidrológicas, las costumbres locales y la actividad de los habitantes tienen una influencia directa en la cantidad de agua consumida. Para zonas rurales se recomienda considerar un consumo promedio diario de 100 lts/hab, el cual está en función del uso doméstico de acuerdo con:

Uso	Consumo diario l/hab
Bebida, cocina y limpieza	30
Eliminación de excretas	40
Aseo personal	30

Fig. 13 Consumo diario en áreas rurales

En zonas urbanas el consumo de agua se determina de acuerdo con el tipo de usuarios, se divide según su uso en: doméstico y no doméstico; el consumo doméstico, se subdivide según la clase socioeconómica de la población en alto, medio y bajo. El consumo no doméstico incluye el comercial, el industrial y de servicios públicos; a su vez, el consumo industrial se clasifica en industrial de servicio e industrial de producción (fábricas), esta clasificación se resume en la gráfica siguiente:

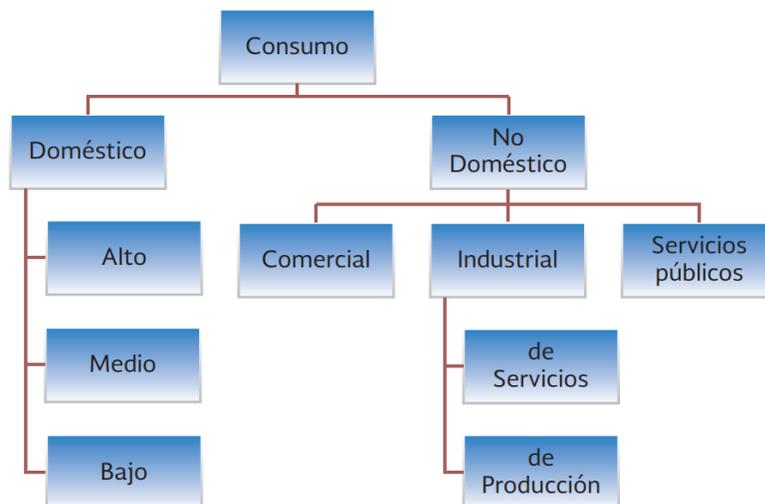


Fig. 14 Consumo en áreas urbanas

En caso de que no se cuente con esta información, la Comisión Nacional del Agua, desarrolló un estudio de sobre consumos de agua potable en zonas urbanas denominado “Estimación de los factores y funciones de la demanda de agua potable en el sector doméstico” en localidades mayores de 20 000 habitantes para determinar cuáles son los factores que intervienen en la determinación del consumo de agua potable y sus variaciones de acuerdo con el clima.

Clima	Consumo l/hab/d			Subtotal por Clima
	Bajo	Medio	Alto	
Cálido Húmedo	198	206	243	201
Cálido Subhúmedo	175	203	217	191
Seco o Muy Seco	184	191	202	190
Templado o Frío	140	142	145	142

Fig. 15 Consumo de acuerdo con clima predominante

Clima	Nivel Socioeconómico		
	Bajo	Medio	Alto
	m ³ /toma/mes		
Cálido Húmedo	24	25	28
Cálido Subhúmedo	20	23	26
Seco o Muy Seco	22	22	22
Templado o Frío	15	16	14

Fig. 16 Consumo de acuerdo con nivel socioeconómico predominante

Factor de Retorno

Se determina mediante la consideración de que, del 100% de agua potable que ingresa a un domicilio, entre el 10% y el 30% se utilizan en actividades en las cuales se consume, se evapora o se desvía a otros puntos, distinta al 70% u 90% restante, que después de ser utilizada por las personas es desfogada al sistema de alcantarillado. Por ello, a este porcentaje que retorna se le denomina Factor de Retorno.

Determinación del caudal de aguas servidas

En sistemas sanitarios el caudal de diseño será determinado de acuerdo con lo siguiente: Normas Generales para Diseño de Alcantarillado de INFOM Pág.8/ 16

- **La población tributaria** será calculada según el número de habitantes al final del período de diseño.
- **Caudal Medio Diario:** El caudal medio diario se calculará con una contribución mínima de 200 litros diarios por habitante, considerando la población de diseño. En cada caso se harán consideraciones con el fin de establecer si es necesaria la adopción de un caudal mayor que el arriba anotado por existir industrias o en previsión de desarrollos industriales, recreativos u otros.
- **Caudal de Hora Máximo:** es el caudal de agua potable estimado para la hora de máximo consumo. Si no existen registros que indiquen un valor más alto, se considerará que es el caudal medio multiplicado por 2.5.

- **Caudal Máximo de origen doméstico:**

Es el agua que, habiendo sido utilizada para limpieza o producción de alimentos, es desechada y conducida a la red de alcantarillado. Será calculado para cada tramo en base al número de conexiones futuras que contribuyan al tramo, el que expresado en litros por segundo será:

$$q_{dom} = \frac{F.R * P * Dot}{86400} = \frac{L}{s}$$

Donde:

Dot = Dotación (lts/hab/día)

P = Número de habitantes

qdom. = Caudal domiciliar (lts/seg)

F.R. = Factor de retorno

- **Caudal Comercial**

Es el agua que se desecha de los comercios como: restaurantes, hoteles, etc. Por lo general la dotación comercial varía según el establecimiento a considerar, pero puede estimarse entre 600 a 3000 litros/comercio/día.

$$q_{com} = \frac{No. comercios * Dot}{86400} = \frac{L}{s}$$

Donde:

qcom. = Caudal comercial

Dot. = Dotación (lts/comercio/día)

No.Com = Número de comercios

- **Caudal Industrial**

Es el agua negra proveniente de las industrias como: fábricas de textiles, licores, alimentos, etc. Si no se cuenta con un dato de dotación de agua suministrada se puede estimar entre 16,000 y 18,000 litros/industria/día, el cual dependerá del tipo de industria.

$$q_{com} = \frac{No. de industrias * Dot}{86400} = \frac{L}{s}$$

Donde:

Qind. = Caudal industrial

Dot. = Dotación (lts/industria/día)

No.Ind = Número de industrias

- **Caudal de conexiones ilícitas**

Es producido por las viviendas que conectan las tuberías del sistema del agua pluvial al alcantarillado sanitario.

Basándose en datos de instituciones como el Instituto de Fomento Municipal (INFOM), según el capítulo 2 de las normas generales para el diseño de alcantarillado en el inciso 2.8 dice: "caudal ilegal

por aguas de lluvia que se conecten en patios o bajadas de techos por error; por este concepto se agrega un 10 por ciento del caudal domiciliar.

$$q_{ilicito} = 10\% * q_{domiciliar}$$

- **Caudal de Infiltración**

Es el caudal que se infiltra en la alcantarilla, el cual depende de las profundidades del nivel freático del agua y de la profundidad, de la permeabilidad del terreno, el tipo de junta, la calidad de mano de obra utilizada y la supervisión técnica de la construcción. Puede calcularse de dos formas: en litros diarios por hectárea o en litros diarios por kilómetro de tubería. A esta se le incluye la longitud de la tubería de las conexiones domiciliarias, asumiendo un valor de 6.00 m por cada casa, el factor de infiltración varía entre 12,000 y 18,000 litros/km/día.

$$q_{inf} = F_{inf} * \left[\frac{m \text{ de tubos} + (No. \text{ de casas} * 6 \text{ metros})}{1000 * 86400} \right]$$

Donde:

q_{inf} . = Caudal de infiltración

Factor de infiltración. = Dotación (lts/kilómetro/día)

No. Casas = Número de casas

Tubería de inicio y de seguimiento

En un sistema de drenaje, los tubos de inicio y de seguimiento son componentes esenciales. El tubo de inicio, también conocido como tubo colector o tubo de entrada, es el que recibe directamente el agua o líquido que se va a drenar, usualmente desde una fuente como una zanja o un área específica. El tubo de seguimiento, por otro lado, es el que conecta el tubo de inicio con el sistema de drenaje principal o con el punto de descarga final.

Tubo de Inicio (Colector/Entrada)

- **Función:** Recibe el agua o líquido a drenar directamente de la fuente.
- **Ubicación:** Se instala en el punto más bajo o área designada para la recolección del líquido.
- **Materiales:** Puede ser de PVC, polietileno corrugado, o incluso tubería de concreto, dependiendo de la aplicación y las necesidades del proyecto.
- **Consideraciones:** Es importante que el tubo de inicio tenga un diámetro adecuado para manejar el caudal esperado y que esté correctamente posicionado para evitar obstrucciones.

Tubo de Seguimiento (Conector)

- **Función:** Conecta el tubo de inicio con el sistema de drenaje principal o con el punto de descarga.
- **Ubicación:** Se instala desde el tubo de inicio hasta el siguiente punto de conexión en el sistema.
- **Materiales:** Puede ser del mismo material que el tubo de inicio o de un material compatible con el sistema principal.
- **Consideraciones:** La longitud y el diámetro del tubo de seguimiento deben ser los adecuados para el diseño del sistema.

Consideraciones Generales para Ambos Tubos:

- Pendiente: Es crucial que ambos tubos tengan una pendiente descendente adecuada para facilitar el flujo del agua por gravedad.
- Conexiones: Las conexiones entre los tubos y otros componentes del sistema deben ser seguras y herméticas para evitar fugas y obstrucciones.
- Mantenimiento: Ambos tipos de tubos deben ser accesibles para inspección y limpieza periódicas para asegurar un funcionamiento eficiente.

Práctica 2: Cálculo de caudales de diseño

En la figura 17 se muestra una zona donde se requiere realizar el diseño del drenaje de aguas negras, para este ejemplo calcule los caudales de diseño de los puntos de descarga 1, 2, 3 y 4 que se indican en la figura 18. En los puntos de descarga existen un comercio y una industria en cada uno.

Los puntos de descarga 1 y 2 son con tubería de inicio, la 3 y 4 son de seguimiento.

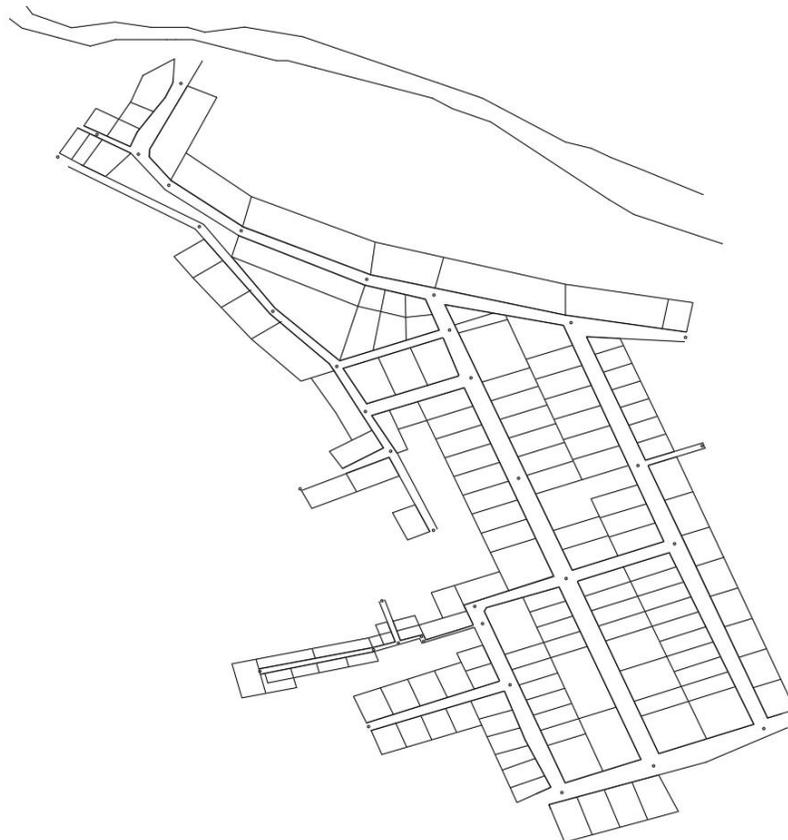


Figura 17: Zona de ejemplo para cálculo de caudales de diseño

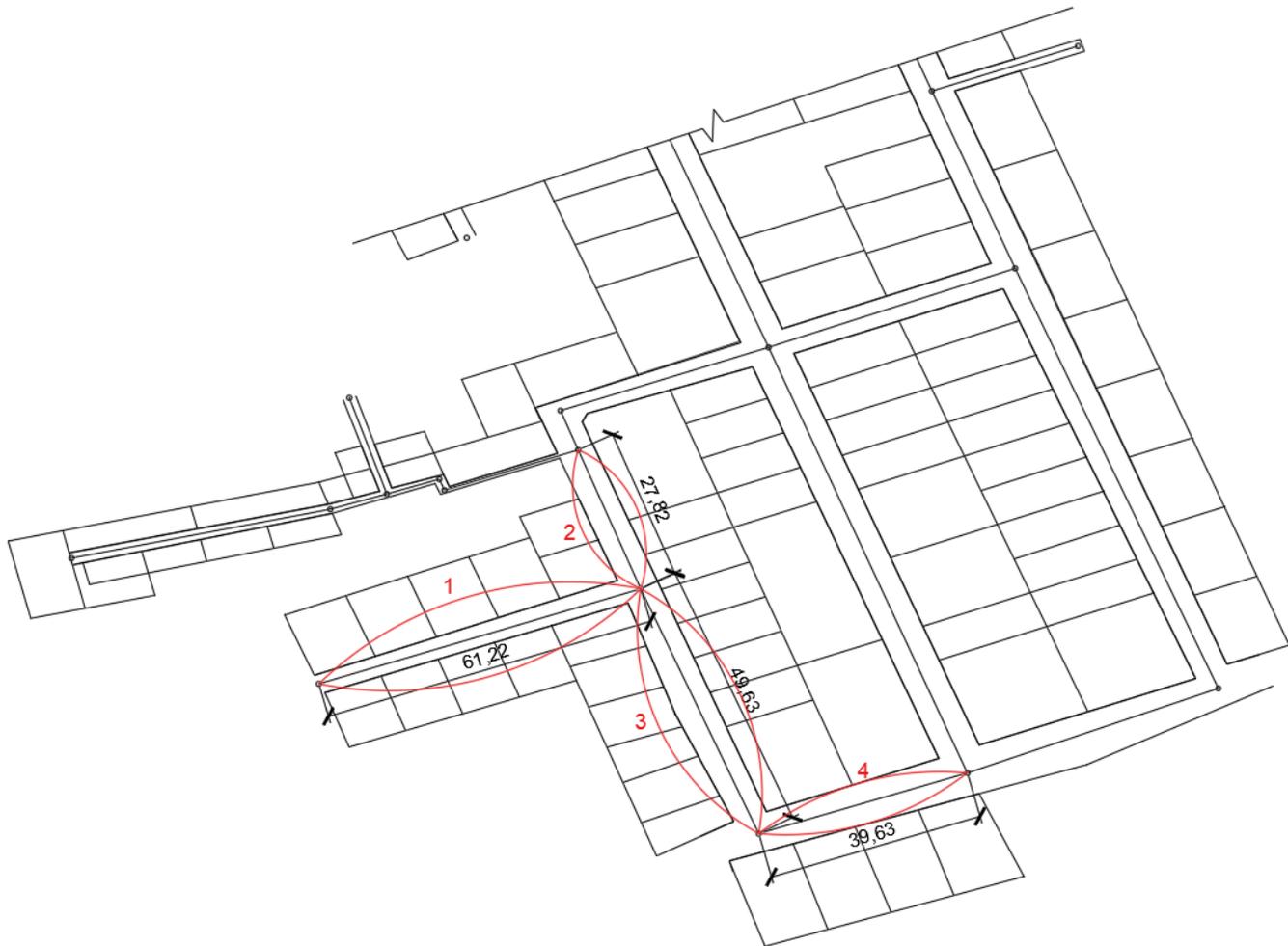


Figura 18: Puntos de descarga.

Se debe calcular el caudal de diseño para cada punto de descarga, se estima que cada vivienda tendrá un Dotación de media paja de agua (166.66 Lt/hab/día). Para el caudal de infiltración se propone utilizar un factor de infiltración de 16000 lts/km/día, también para los comercios 2000 lts/com/día y 17000 lts/indus/día para las industrias esto es para todos los puntos de descarga.

Punto de descarga 1:

$$Q_{diseño1} = q_{domiciliar1} + q_{comercial1} + q_{industrial1} + q_{infiltracion1} + q_{ilicita1}$$

$$Q_{diseño1} = \frac{FR * Población * Dotacion}{86400}$$

Se utilizará un factor de retorno del 95%, y al observar la figura 18 se nota que en el punto de descarga 1

hay 10 viviendas que desfogan sus aguas residuales en ese punto, por lo tanto, el caudal domiciliar es:

$$q_{domiciliar\ 1} = \frac{0.95 * 8\ vivienda * \frac{6\ hab}{viviendas} * 166.66\ lts/hab/dia}{86400}$$

$$q_{domiciliar\ 1} = 0.11\ lts/seg$$

Como se indica en cada punto de descarga hay un comercio y una industria:

$$q_{com1} = \frac{No.\ com * Dot}{86400} = \frac{1\ com * 2000\ lts/com/dia}{86400} = 0.0231\ lts/seg$$

$$q_{indus1} = \frac{No.\ indus * Dot}{86400} = \frac{1\ indus * 17000\ lts/indus/dia}{86400} = 0.1968\ lts/seg$$

$$q_{ilicitos1} = 0.1 * q_{domiciliar1}$$

$$q_{ilicitos1} = 0.1 * 0.11\ lts/seg = 0.011\ lts/seg$$

La longitud de tubos en metros que requiere el punto de descarga 1 según la figura 18 es de 61.22m y el número de casas son 8.

$$q_{inf1} = F_{inf} \left(\frac{\text{metro de tubos} + (No.\ casas * 6m)}{1000 * 86400} \right)$$

$$q_{inf1} = 16000\ lts/km/dia \left(\frac{61.22m + (10\ casas * 6m)}{1000 * 86400} \right)$$

$$q_{inf1} = 0.022\ lts/seg$$

El caudal de diseño del punto de descarga 1 es:

$$Q_{diseño1} = q_{domiciliar1} + q_{comercial1} + q_{industrial1} + q_{ilicitos1} + q_{inf1}$$

$$Q_{diseño1} = 0.11 \frac{lbs}{seg} + 0.0231 \frac{lbs}{seg} + 0.1968 \frac{lbs}{seg} + 0.011 \frac{lbs}{seg} + 0.022 \frac{lbs}{seg}$$

$$Q_{diseño1} = 0.363 \frac{lbs}{seg}$$

Se aplica el mismo proceso para el resto de puntos de descarga.

Punto de descarga 2:

$$q_{domiciliar2} = \frac{0.95 * 7 \text{ casas} * \frac{6 \text{ hab}}{\text{casas}} * 166.66 \text{ lbs/hab/dia}}{86400} = 0.077 \frac{lbs}{seg}$$

$$q_{com2} = \frac{\text{No. com} * \text{Dot}}{86400} = \frac{1 \text{ com} * 2000 \text{ lbs/com/dia}}{86400} = 0.0231 \frac{lbs}{seg}$$

$$q_{indus2} = \frac{\text{No. indus} * \text{Dot}}{86400} = \frac{1 \text{ indus} * 17000 \text{ lbs/indus/dia}}{86400} = 0.1968 \frac{lbs}{seg}$$

$$q_{ilicitos2} = 0.1 * 0.077 \frac{lbs}{seg} = 0.0077 \frac{lbs}{seg}$$

$$q_{inf2} = 16000 \text{ lbs/km/dia} \left(\frac{27.82 \text{ m} + (7 \text{ casas} * 6 \text{ m})}{1000 * 86400} \right) = 0.0129 \frac{lbs}{seg}$$

$$Q_{diseño2} = 0.077 \frac{lbs}{seg} + 0.0231 \frac{lbs}{seg} + 0.1968 \frac{lbs}{seg} + 0.0077 \frac{lbs}{seg} + 0.0129 \frac{lbs}{seg} = 0.32 \frac{lbs}{seg}$$

Punto de descarga 3. Nota: el punto 3 por el diseño va a recolectar el caudal del punto 1 y 2 ya que esta tubería es de seguimiento.

$$q_{domiciliar3} = \frac{0.95 * 12 \text{ casas} * \frac{6\text{hab}}{\text{casas}} * 166.66\text{ lts/hab/dia}}{86400} = 0.13 \text{ lts/seg}$$

$$q_{com3} = \frac{\text{No. com} * \text{Dot}}{86400} = \frac{1\text{com} * 2000 \text{ lts/com/dia}}{86400} = 0.0231 \text{ lts/seg}$$

$$q_{indus3} = \frac{\text{No. indus} * \text{Dot}}{86400} = \frac{1\text{indus} * 17000 \text{ lts/indus/dia}}{86400} = 0.1968 \text{ lts/seg}$$

$$q_{ilicitos3} = 0.1 * 0.13 \text{ lts/seg} = 0.013 \text{ lts/seg}$$

$$q_{inf3} = 16000\text{ lts/km/dia} \left(\frac{49.63\text{m} + (12\text{casas} * 6\text{m})}{1000 * 86400} \right) = 0.023 \text{ lts/seg}$$

$$Q_{diseño3} = 0.13 \frac{\text{lts}}{\text{seg}} + 0.0231 \frac{\text{lts}}{\text{seg}} + 0.1968 \frac{\text{lts}}{\text{seg}} + 0.013 \frac{\text{lts}}{\text{seg}} + 0.023 \frac{\text{lts}}{\text{seg}} = 0.39 \text{ lts/seg}$$

$$Q_{diseño-final 3} = Q_{diseño1} + Q_{diseño2} + Q_{diseño3} = 0.363 \frac{\text{lts}}{\text{seg}} + 0.32 \frac{\text{lts}}{\text{seg}} + 0.39 \frac{\text{lts}}{\text{seg}} = 1.073 \text{ lts/seg}$$

Punto de descarga 4. Nota: el punto 4 por el diseño va a recolectar el caudal del punto 1, 2 y 3.

$$q_{domiciliar4} = \frac{0.95 * 6 \text{ casas} * \frac{6\text{hab}}{\text{casas}} * 166.66\text{ lts/hab/dia}}{86400} = 0.066 \text{ lts/seg}$$

$$q_{com4} = \frac{\text{No. com} * \text{Dot}}{86400} = \frac{1\text{com} * 2000 \text{ lts/com/dia}}{86400} = 0.0231 \text{ lts/seg}$$

$$q_{indus4} = \frac{No. \text{ indus} * Dot}{86400} = \frac{1indus * 17000 \text{ lts/indus/dia}}{86400} = 0.1968 \text{ lts/seg}$$

$$q_{ilicitos3} = 0.1 * 0.066 \text{ lts/seg} = 0.0066 \text{ lts/seg}$$

$$q_{inf4} = 16000 \text{ lts/km/dia} \left(\frac{39.63m + (6casas * 6m)}{1000 * 86400} \right) = 0.0140 \text{ lts/seg}$$

$$Q_{diseño4} = 0.066 \frac{\text{lts}}{\text{seg}} + 0.0231 \frac{\text{lts}}{\text{seg}} + 0.1968 \frac{\text{lts}}{\text{seg}} + 0.0066 \frac{\text{lts}}{\text{seg}} + 0.0140 \frac{\text{lts}}{\text{seg}} = 0.3065 \text{ lts/seg}$$

$$Q_{diseño-final 4} = Q_{diseño-final 3} + Q_{diseño4} = 1.073 \frac{\text{lts}}{\text{seg}} + 0.3065 \frac{\text{lts}}{\text{seg}} = 1.3795 \text{ lts/seg}$$

HOJA DE TRABAJO No. 2

Calcular los caudales de diseño de los puntos de descarga 5, 6 y 7. Nota: el punto 5 es tubería de inicio y los puntos 6 y 7 son de seguimiento, tomando en cuenta los caudales que vienen de los puntos anteriores. Ver figura 19.

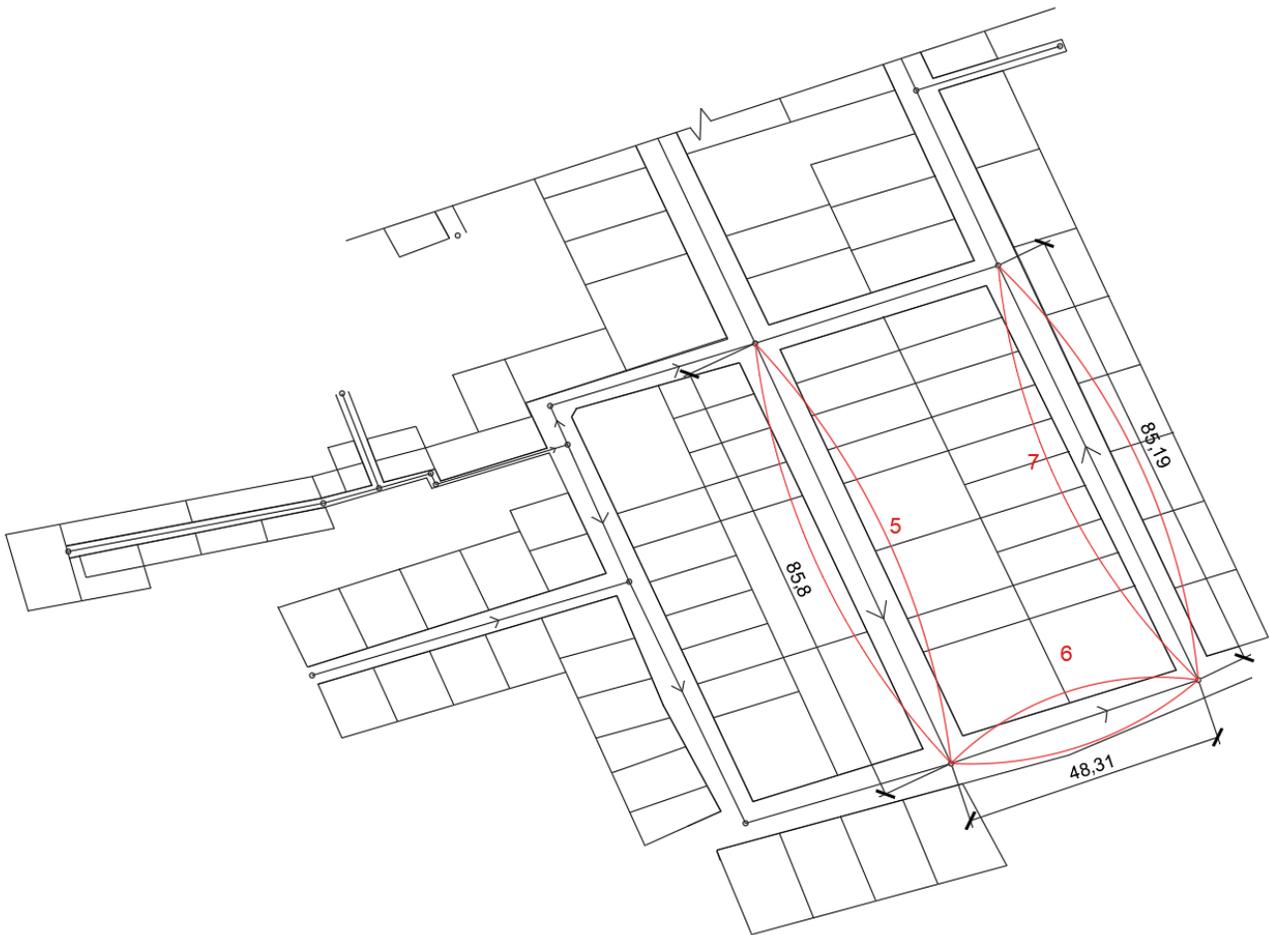


Figura 19. Puntos de descarga 5, 6 y 7.

PRÁCTICA No. 3

DISEÑO DE DRENAJE SANITARIO

1. Propósito de la práctica.

- 1.1 Conocer los conceptos para el diseño de un drenaje.
- 1.2 Diseñar un tramo de tubería para un drenaje de aguas residuales.

2. Marco Teórico.

Las tuberías son las encargadas de transportar el agua que proviene de las viviendas, comercios o industrias y hay necesidad de desecharlas, incluso también pueden ser las derivadas de aguas de lluvia que es depositada al sistema por medio sus conexiones a través de candelas domiciliarias y estas hacia la tubería principal recolectora.

Para aprender a diseñar un tramo de tubería para drenaje de aguas residuales necesitamos entender algunos conceptos:

Tubería: Una tubería es un conducto o canal cerrado, generalmente de forma cilíndrica, diseñado para transportar fluidos, en este caso aguas residuales. Estas pueden ser de PVC, concreto o de galvanizado.

En las normativa Guatemalteca (Normas generales para diseño de alcantarillado - INFOM 2001) indica los diámetros mínimos a utilizar: *“El diámetro mínimo a utilizar en los alcantarillados sanitarios será de 8 pulgadas para tubos de concreto o de 6 pulgadas para tubos de PVC”*. *“La profundidad mínima del coronamiento de la tubería con respecto a la superficie del terreno será de 1.00m”*

Candela domiciliar: Una candela domiciliar (también conocida en algunos países como caja domiciliar, registro domiciliario o simplemente conexión domiciliar) es un dispositivo o estructura instalada en la red de drenaje sanitario que sirve como punto de conexión entre la vivienda (o predio) y la red pública de alcantarillado.

“En las conexiones domiciliarias el diámetro mínimo será de 6 pulgadas en concreto y de 4 pulgadas en PVC, usando en este último caso un reductor de 4”x3” como protección de obstrucciones a la entrada de la conexión en la candela de registro domiciliar, la cual será de un diámetro de 12 pulgadas” (INFOM 2001)

Topografía: La topografía es la ciencia que estudia y representa en un plano o mapa las características físicas de la superficie terrestre, tanto naturales (ríos, montañas, valles) como artificiales (edificaciones, caminos, canales), con sus dimensiones, formas y posiciones relativas.

Curvas de nivel: Las curvas de nivel son líneas que representan en un plano la altura (o cota) constante de un terreno con respecto a un plano de referencia (generalmente el nivel del mar). Son fundamentales en topografía, urbanismo, diseño de carreteras, drenaje y obras civiles.

Pendiente del terreno: es la medida que indica cuánto se eleva o desciende el terreno en una distancia horizontal determinada. Se expresa comúnmente como porcentaje (%), aunque también puede representarse como relación (1:X) o en grados (°).

$$\text{Pendiente (\%)} = \frac{\text{Distancia de Altura}}{\text{Distancia Horizontal}} * 100$$

Cota de terreno: La cota de terreno es la altura o elevación de un punto específico del terreno con respecto a un plano de referencia, generalmente el nivel del mar o una cota base definida en el proyecto.

Pozo de visita: Un pozo de visita (también conocido como registro, alcantarilla de inspección o pozo de inspección) es una estructura vertical construida dentro de una red de drenaje o alcantarillado que permite el acceso al interior de las tuberías subterráneas para su inspección, limpieza, mantenimiento o reparación.

“Se diseñarán pozos de visita para localizarlos en los siguientes casos:

- En cambios de diámetro.
- En cambios de pendiente.
- En cambios de dirección horizontal para diámetros menores de 24 pulgadas.
- En las intersecciones de tuberías colectoras.
- En los extremos superiores de los ramales iniciales.
- A distancias no mayores de 100 m en línea recta en diámetros hasta de 24 pulgadas.
- A distancias no mayores de 300 m en diámetros superiores de 24 pulgadas. “

Cotas invertidas: Las cotas invertidas (también llamadas cotas de fondo o cotas de solera) son las alturas que indican el nivel inferior (fondo) de una tubería o canal, especialmente en sistemas de drenaje o alcantarillado.

$$\text{Cota invertida} = \text{Cota terreno} - \text{Cota de tubería}$$

Estas pueden ser de entrada o salida en referencia al pozo de visita, ver figura 20.

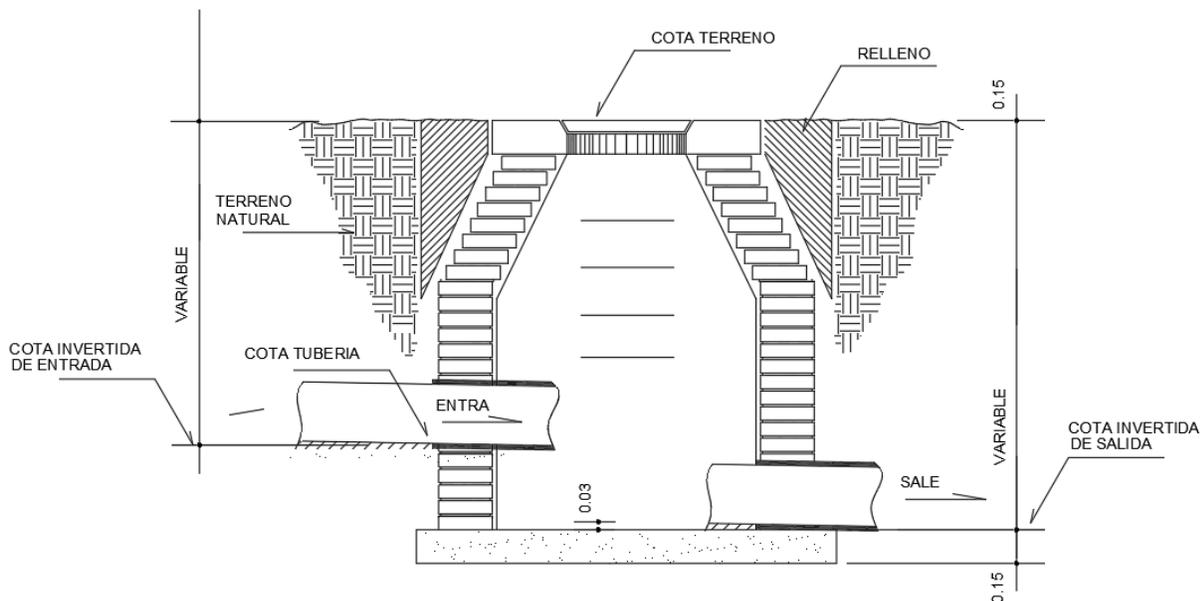


Figura 20: Pozo de visita y cotas invertidas.

Pendiente de tubería: La pendiente de una tubería es la inclinación longitudinal que tiene un tramo de tubería para permitir que el fluido (como aguas residuales o pluviales) fluya por gravedad desde un punto más alto a uno más bajo.

En algunas ocasiones la pendiente de la tubería es la misma que la del terreno y en otros casos no, esto depende del diseño.

Caudal: El caudal es una medida del volumen de agua (u otro fluido) que pasa por un punto específico de una tubería, canal o río en un tiempo determinado.

Como se estudió en la práctica 1 se puede determinar el caudal por medio de la velocidad del flujo atravesando una sección transversal.

$$Q = \text{Velocidad} * \text{Área}$$

Velocidad a sección llena: La velocidad a sección llena se refiere a la velocidad del agua cuando una tubería o canal está completamente lleno (flujo a presión o en flujo a superficie libre cuando el conducto está lleno).

En hidráulica, esta velocidad se calcula comúnmente con la fórmula de Manning (para flujo en canales o tuberías a superficie libre, incluyendo secciones llenas):

$$V_{sll} = \frac{0.03429}{n} * D^{2/3} * S^{1/2}$$

Donde:

Vsll = Velocidad a sección llena en m/seg.

D= Diámetro de tubería en pulgadas.

S = Pendiente de la tubería en m/m (porcentaje).

n = Coeficiente de rugosidad de Manning (n=0.04 para concreto y n=0.010 para PVC).

La normativa nos indica lo siguiente; *“En general se usará en el diseño secciones circulares funcionando como canales a sección parcialmente llena. El máximo que se permite lleno para diseño es un 74% del diámetro del tubo”*

Como se puede leer, un drenaje no se debe diseñar con la tubería al 100% de su capacidad, para lograr que el diseño sea a una sección parcialmente llena se debe realizar una relación entre la tubería completamente llena con parcialmente llena.

Esto se logra realizando lo que se conoce como relaciones hidráulicas las cuales pueden ser:

Relación de caudales:

$$\frac{Q_{diseño}}{Q_{sll}}$$

Relación de velocidades:

$$\frac{V_{diseño}}{V_{sll}}$$

Relación de diámetros:

$$\frac{d}{D}$$

Estas relaciones las podemos encontrar en tablas de relaciones hidráulicas, en la figura 21 se muestran algunos valores de estas relaciones hidráulicas.

$\frac{Q}{Q_0}$	Rel.	0	0.01	0.02	0.03
0	V/Vo	0.000	0.292	0.362	0.400
	d/D	0.000	0.092	0.124	0.148
	R/Ra	0.000	0.239	0.315	0.370
	H/D	0.000	0.041	0.067	0.086
0.1	V/Vo	0.540	0.553	0.570	0.580
	d/D	0.248	0.258	0.270	0.280
	R/Ro	0.586	0.606	0.630	0.650
	H/D	0.170	0.179	0.188	0.197
0.2	V/Vo	0.656	0.664	0.672	0.680
	d/D	0.346	0.353	0.362	0.370
	R/Ro	0.768	0.780	0.795	0.809
	H/D	0.251	0.258	0.266	0.273
0.3	V/Vo	0.729	0.732	0.740	0.750
	d/D	0.424	0.431	0.439	0.447
	R/Ro	0.896	0.907	0.919	0.931
	H/D	0.321	0.328	0.334	0.341
0.4	V/Vo	0.796	0.802	0.806	0.810
	d/D	0.498	0.504	0.510	0.516
	A/A	1.007	1.014	1.021	1.028
	H/D	0.388	0.395	0.402	0.408
0.5	V/Vo	0.850	0.855	0.860	0.865
	d/D	0.563	0.570	0.576	0.582
	R/Ro	1.079	1.087	1.094	1.100
	H/D	0.458	0.465	0.472	0.479
0.6	V/Vo	0.900	0.903	0.908	0.913
	d/D	0.626	0.632	0.639	0.643
	R/Ro	0.136	1.139	1.143	1.147
	H/D	0.534	0.542	0.550	0.559

Figura 21: Relaciones hidráulicas.

Velocidad de diseño: La velocidad de diseño es la velocidad del flujo que se elige como criterio técnico y normativo para dimensionar una tubería o canal, asegurando un funcionamiento eficiente, seguro y duradero del sistema.

“La velocidad máxima con el caudal de diseño será de 2.50 m/seg y una velocidad mínima de 0.60 m/seg”
(INFOM – 2001)

Con los conceptos presentes podemos entrar a ejemplificar el diseño de una tubería para drenaje de aguas residuales.

3. Práctica 3: Diseño de tubería.

Se debe diseñar la tubería de los puntos de descarga que se analizaron en la práctica 2, en la figura 22 se muestra la planta con los detalles de curvas de nivel y cotas en los puntos donde hay cambios de estación y por ende se colocarán pozos de visita.

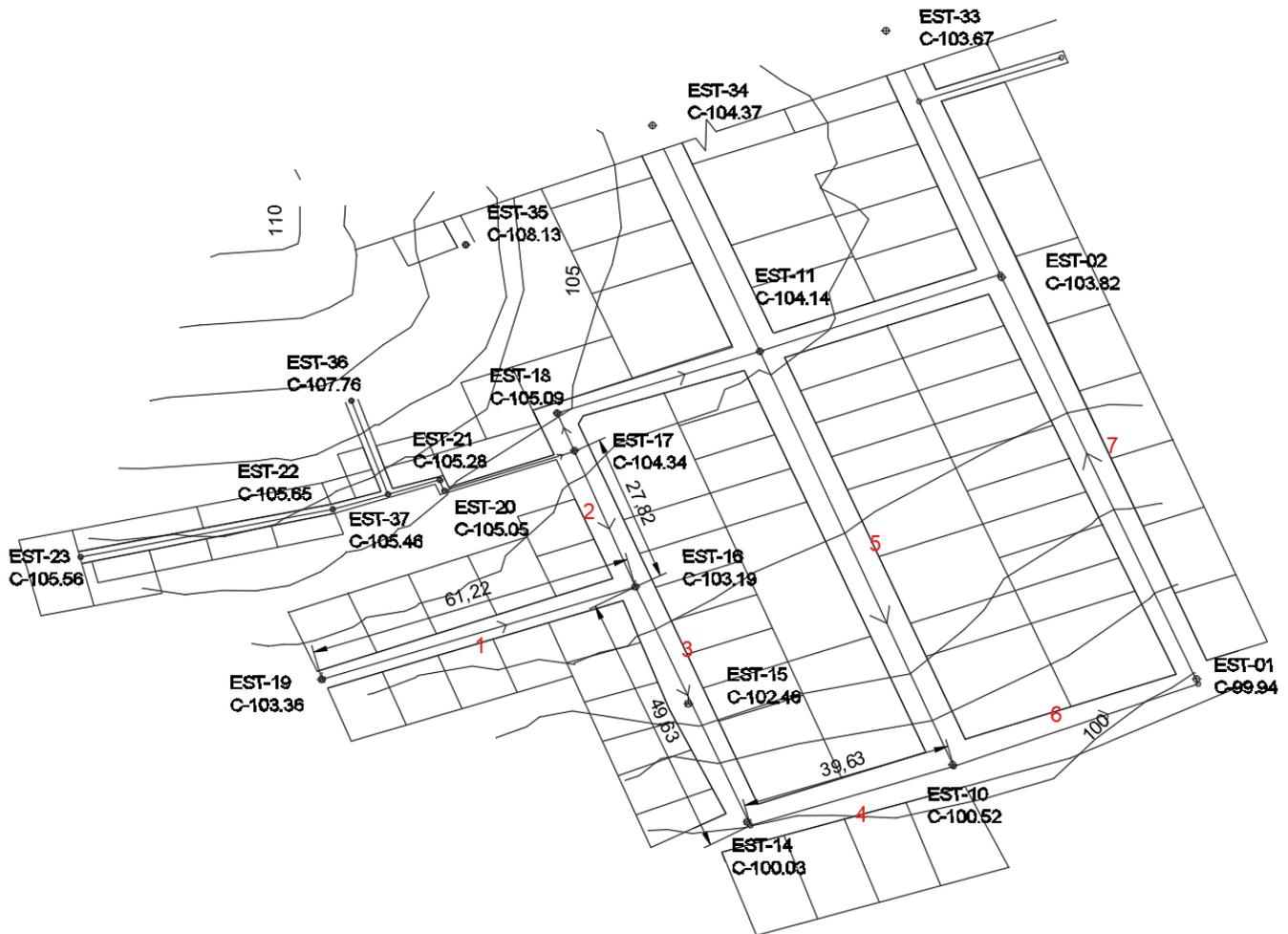


Figura 22: Curvas de nivel y cotas en pozos.

Punto de descarga 1:

Diseño de tubería:

Comenzamos diseñando en punto 1, de la práctica 2 sabemos que el caudal de diseño para este punto es de $Q_{diseño1} = 0.363 \text{ lts/seg}$ esto es equivalente a $Q_{diseño1} = 0.000363 \text{ m}^3/\text{seg}$

Lo que se necesita realizar es encontrar las relaciones hidráulicas ya que con eso garantizamos que la tubería trabaje a sección parcialmente llena.

$$Q_{sll} = \text{Velocidad a sección llena} * \text{Área a sección llena}$$

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

La velocidad a sección llena se encuentra con la ecuación de Manning y para ellos se debe proponer un diámetro de tubería y una pendiente para la tubería.

$$V_{sll} = \frac{0.03429}{n} * D^{2/3} * S^{1/2}$$

Por ser un punto de inicio y como no tiene muchas viviendas se propone el diámetro mínimo establecido por la normativa 6 pulgadas para PVC.

Para proponer la pendiente se debe considerar la pendiente del terreno natural, para ello tomar las cotas del punto inicial y final del tramo, es decir de la estación 19 hacia la estación 16, de acuerdo a la figura 22 obtenemos lo siguiente:

$$\text{Pendiente terreno (\%)} = S_{\text{terreno}} = \frac{\text{Distancia de Altura}}{\text{Distancia Horizontal}} * 100$$

$$S_{\text{terreno}} = \frac{103.36m - 103.19m}{61.22m} * 100 = 0.28\%$$

La pendiente del terreno es $S_{\text{terreno}} = 0.28\%$ Se recomienda no utilizar pendientes menores al 0.5% para las tuberías, por ende, para la tubería se propone utilizar la pendiente mínima o una mayor, para este ejercicio se propone lo siguiente.

$$S_{\text{tubería}} = 1.5\%$$

La velocidad a sección llena es:

$$V_{sll} = \frac{0.03429}{0.01} * (6 \text{ pulg})^{2/3} * (0.015)^{1/2}$$

$$V_{sll} = 1.39 \text{ m/seg}$$

Ahora se determina el caudal que es capaz de transportar un tubo de 6 pulgadas con una pendiente del 1.5%, recuerde este caudal es la sección llena.

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

El área a sección llena es el área total de la tubería (6 pulg = 0.1524m):

$$A_{sll} = \pi * R^2 = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$A_{sll} = \pi * \left(\frac{0.15m}{2}\right)^2 = 0.0176 \text{ m}^2$$

$$Q_{sll} = V_{sll} * A_{sll} = 1.39 \frac{\text{m}}{\text{seg}} * 0.0176 \text{ m}^2$$

$$Q_{sll} = 0.024 \text{ m}^3/\text{seg}$$

La relación hidráulica entre caudales es la siguiente (ver tabla de relaciones hidráulicas):

$$\frac{Q_{\text{diseño}}}{Q_{sll}}$$

$$\frac{Q_{diseño1}}{Q_{sl}} = \frac{0.000363 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.024 \text{ m}^3/\text{seg}} = 0.015 = 0.02$$

Se aproxima a 0.02 para poder hacer uso de la tabla de relaciones hidráulicas. Con esta relación se puede determinar la relación de velocidades.

$$\frac{V_{diseño}}{V_{sl}} = 0.362$$

Si la $V_{sl} = 1.39 \text{ m/seg}$ la velocidad de diseño es:

$$V_{diseño} = 0.362 * V_{sl} = 0.362 * 1.39 \text{ m/seg}$$

$$V_{diseño} = 0.502 \text{ m/seg}$$

Esta velocidad es menor a la mínima establecida por la normativa, sin embargo, es un rango aceptable, ya que si aumentamos pendiente para poder aumentar la velocidad el pozo de visita sería cada vez más profundo y es algo que no conviene, por lo tanto, la pendiente propuesta es buena opción.

Diseño de pozo de visita:

En la estación 19 se inicia con un pozo, como es el primero este tendrá una altura mínima de 1.20m de profundidad esto incluyendo el diámetro del tubo.

La Cota invertida de salida es:

$$Cota \text{ invertida} = Cota \text{ terreno} - Cota \text{ de tubería}$$

$$Cota \text{ invertida salida} = 103.36m - 1.20m = 102.16m$$

Para determinar la cota invertida de entrada hay que considerar la pendiente de la tubería y su largo, recuerde que se propuso una pendiente del 1.5% y el largo del punto de descarga es de $L=61.22m$, la diferencia de altura a la que llegará el tubo con respecto de dónde salió es de:

$$Altura = L * S_{tubería}$$

$$Altura \text{ a la que llega el tubo} = 61.22m * 1.5\% = 0.918m$$

Por lo tanto:

$$Cota \text{ invertida entrada} = Cota \text{ invertida salida} - Altura \text{ al que llega el tubo}$$

$$Cota \text{ invertida entrada} = 102.16m - 0.918m = 101.242m$$

La profundidad del pozo es igual a la cota del terreno menos la cota invertida de entrada, en este caso el pozo estará en la estación 16 y esta tiene una cota de 103.19m.

$$Atura \text{ de pozo} = Cota \text{ de terreno} - Cota \text{ invertida de Entrada}$$

$$Atura \text{ de pozo} = 103.19m - 101.242m = 1.95m$$

Como se puede notar la altura del pozo es de 1.95m es un pozo grande, por ende, si aumentamos la pendiente para reajustar la velocidad esto nos llevaría a un pozo mucho más grande, lo cual no es rentable económicamente, por lo tanto, el diseño del punto de descarga 1 quedaría como sigue:

RESUMEN DISEÑO PUNTO 1:

D = 6 pulgadas

S = 1.5%

V = 0.5 m/s

$Q_{diseño1} = 0.363 \text{ lts/seg}$
 Longitud de tubería de 61.22m
 Altura de pozo en estación 19 de 1.20m
 Altura de Pozo en estación 16 de 1.95m
 Cota invertida de salida = 102.16m
 Cota invertida de entrada = 101.24m

Hay Algo importante a tomar en cuenta, la altura de pozo de la estación 16 no lo establece el punto de descarga 1 ya que este también recibe del punto de descarga 2, por ende, se debe diseñar ahora el punto 2 para determinar la altura de pozo que este punto requiere y se toma la altura mayor que hay entre estos dos puntos.

A continuación, se muestran el diseño para el punto 2, 3 y 4:

Punto de descarga 2:

Diseño de tubería:

$$Q_{diseño2} = 0.32 \text{ lts/seg} = 0.00032 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Cota Est. 17 = 104.34m
 Cota Est. 16. = 103.19m
 Longitud de diseño = 27.82m
 $D = 6 \text{ pulgadas} = 0.1524\text{m}$
 Como es tubería de inicio tendrá una cota de salida de 1.20m

$$S_{terreno} = \frac{104.34\text{m} - 103.19\text{m}}{27.82\text{m}} * 100 = 4.13\%$$

$S_{tuberia} = 4\%$ proponiendo una pendiente igual al del terreno.

$$V_{sll} = \frac{0.03429}{0.01} * (6 \text{ pulg})^{\frac{2}{3}} * (0.04)^{\frac{1}{2}} = 2.26 \text{ m/seg}$$

$$A_{sll} = \pi * \left(\frac{0.1524\text{m}}{2}\right)^2 = 0.01824 \text{ m}^2$$

$$Q_{sll} = V_{sll} * A_{sll} = 2.26 \frac{\text{m}}{\text{seg}} * 0.01824 \text{ m}^2 = 0.0412$$

$$\frac{Q_{diseño1}}{Q_{sll}} = \frac{0.00032 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.0412 \text{ m}^3/\text{seg}} = 0.007 = 0.01$$

$$\frac{V_{diseño}}{V_{sll}} = 0.292$$

$$V_{diseño} = 0.292 * V_{sll} = 0.292 * 2.26 \frac{\text{m}}{\text{seg}} = 0.66 \text{ m/seg}$$

La velocidad de diseño si chequea ya que es mayor a los 0.6m/seg.

Diseño de pozo de visita:

$$Cota \text{ invertida salida} = Cota \text{ Est } 17 - Cota \text{ de tuberia} = 104.34\text{m} - 1.20\text{m} = 103.14\text{m}$$

$$Altura \text{ a la que llega el tubo} = 27.82\text{m} * 4\% = 1.1124\text{m}$$

$$Cota \text{ invertida entrada} = Cota \text{ inv. salida} - Altura = 103.14\text{m} - 1.1124\text{m} = 102.027\text{m}$$

$$\text{Atura de pozo} = \text{Cota Est. 16} - \text{Cota invertida de Entrada} = 103.19\text{m} - 102.027 = 1.16\text{m}$$

RESUMEN DISEÑO PUNTO 2:

D = 6 pulgadas

S = 4%

V = 0.66 m/s

Qdiseño2 = 0.32 lts/seg

Longitud de tubería de 27.82m

Altura de pozo en estación 17 de 1.20m

Altura de Pozo en estación 16 de 1.16m

Cota invertida de salida = 103.14m

Cota invertida de entrada = 102.027m

Nota: del punto de descarga 1 pide un pozo de 1.95m y el punto de descarga 2 un pozo de 1.16m, se toma el mayor, por ende, el pozo en la estación 16 es de 1.95m, esto es importante porque servirá para el diseño del punto de descarga 3.

Punto de descarga 3:

Diseño de tubería:

$$Q_{\text{diseño-final3}} = 1.073 \text{ lts/seg} = 0.001073 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Cota Est. 16 = 103.19m

Cota Est. 14. = 100.03m

Longitud de diseño = 49.63m

D= 6 pulgadas=0.1524m

Como es tubería de seguimiento la cota del tubo de salida es igual la cota invertida más bajo de los tubos que llegan al pozo 16 menos unos 15cm más abajo.

$$S_{\text{terreno}} = \frac{103.16\text{m} - 100.03\text{m}}{49.63\text{m}} * 100 = 6.30\%$$

$S_{\text{tuberia}} = 5\%$ proponiendo una cercana a la pendiente del terreno.

$$V_{sll} = \frac{0.03429}{0.01} * (6 \text{ pulg})^{\frac{2}{3}} * (0.05)^{\frac{1}{2}} = 2.53 \text{ m/seg}$$

$$A_{sll} = \pi * \left(\frac{0.1524\text{m}}{2}\right)^2 = 0.01824 \text{ m}^2$$

$$Q_{sll} = V_{sll} * A_{sll} = 2.53 \frac{\text{m}}{\text{seg}} * 0.01824 \text{ m}^2 = 0.0461$$

$$\frac{Q_{\text{diseño1}}}{Q_{sll}} = \frac{0.001073 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.0461 \text{ m}^3/\text{seg}} = 0.023 = 0.02$$

$$\frac{V_{\text{diseño}}}{V_{sll}} = 0.362$$

$$V_{\text{diseño}} = 0.362 * V_{sll} = 0.362 * 2.53 \frac{\text{m}}{\text{seg}} = 0.92 \text{ m/seg}$$

La velocidad de diseño si chequea ya que es mayor a los 0.6m/seg.

Diseño de pozo de visita:

$$\text{Cota invertida salida} = \text{Cota invertida de entrada mas bajo al pozo de la est. 16} - 0.15\text{m}$$

Al pozo 16 le llegan dos tuberías, las provenientes de los puntos de descarga 1 y 2, al observar las cotas

invertidas de entrada, el más bajo es de 101.242m que corresponde al punto de descarga 1. Por ende, la cota invertida de salida del tubo del punto de descarga 3 es:

$$Cota\ invertida\ salida = 101.242m - 0.15m = 101.092m$$

$$Altura\ a\ la\ que\ llega\ el\ tubo = 49.63m * 5\% = 2.48m$$

$$Cota\ invertida\ entrada = Cota\ inv.\ salida - Altura = 101.092m - 2.48m = 98.612m$$

$$Atura\ de\ pozo = Cota\ Est.\ 14 - Cota\ invertida\ de\ Entrada = 100.03m - 98.612 = 1.42m$$

RESUMEN DISEÑO PUNTO 3:

D = 6 pulgadas

S = 5%

V = 0.92 m/s

Qdiseño3 = 1.073 lts/seg

Longitud de tubería de 49.63m

Altura de pozo en estación 16 de 1.95m

Altura de Pozo en estación 14 de 1.42m

Cota invertida de salida = 101.092m

Cota invertida de entrada = 98.612m

Punto de descarga 4:

Diseño de tubería:

$$Q_{diseño-final4} = 1.3795\ lts/seg = 0.0013795\ m^3/seg$$

Cota Est. 14 = 100.03m

Cota Est. 10. = 100.52m

Longitud de diseño = 39.63m

D= 6 pulgadas=0.1524m

$$S_{terreno} = \frac{100.03m - 100.52m}{39.63m} * 100 = -1.24\%$$

Como la pendiente da negativa esto indica que es una subida, eso quiere decir que la tubería ira en contra de la pendiente natural del terreno.

$S_{tuberia} = 1\%$ proponiendo una pendiente con el objetivo que no genere un pozo muy profundo

$$V_{sll} = \frac{0.03429}{0.01} * (6\ pulg)^{\frac{2}{3}} * (0.01)^{\frac{1}{2}} = 1.13\ m/seg$$

$$A_{sll} = \pi * \left(\frac{0.1524m}{2}\right)^2 = 0.01824\ m^2$$

$$Q_{sll} = V_{sll} * A_{sll} = 1.13\ \frac{m}{seg} * 0.01824\ m^2 = 0.02$$

$$\frac{Q_{diseño1}}{Q_{sll}} = \frac{0.0013795\ m^3/seg}{0.02\ m^3/seg} = 0.068 = 0.1$$

$$\frac{V_{diseño}}{V_{sll}} = 0.54$$

$$V_{diseño} = 0.362 * V_{sll} = 0.54 * 1.13\ \frac{m}{seg} = 0.61\ m/seg$$

La velocidad de diseño si chequea ya que es mayor a los 0.6m/seg.

Diseño de pozo de visita:

$$Cota\ invertida\ salida = Cota\ invertida\ de\ entrada\ al\ pozo\ de\ la\ est.\ 14 - 0.15m$$

Al pozo 14 solo llega la proveniente del punto de descarga 3, por ende:

$$Cota\ invertida\ salida = 98.612m - 0.15m = 98.462m$$

$$Altura\ a\ la\ que\ llega\ el\ tubo = 39.63m * 1\% = 0.3963m$$

$$Cota\ invertida\ entrada = Cota\ inv.\ salida - Altura = 98.462m - 0.3963m = 98.07m$$

$$Atura\ de\ pozo = Cota\ Est.\ 10 - Cota\ invertida\ de\ Entrada = 100.52m - 98.07 = 2.45m$$

RESUMEN DISEÑO PUNTO 4:

D = 6 pulgadas

S = 1%

V = 0.61 m/s

Qdiseño4 = 1.3795 lts/seg

Longitud de tubería de 39.63m

Altura de pozo en estación 14 de 1.42m

Altura de Pozo en estación 10 de 2.45m

Cota invertida de salida = 98.462m

Cota invertida de entrada = 98.07m

HOJA DE TRABAJO NO. 3

Realizar el diseño de tubería y pozos de los puntos de descarga 5, 6 y 7. Recuerde que el punto 5 es con tubería de inicio y los puntos 6 y 7 son de seguimiento, también tome en cuenta los tramos que provienen de los puntos anteriores.

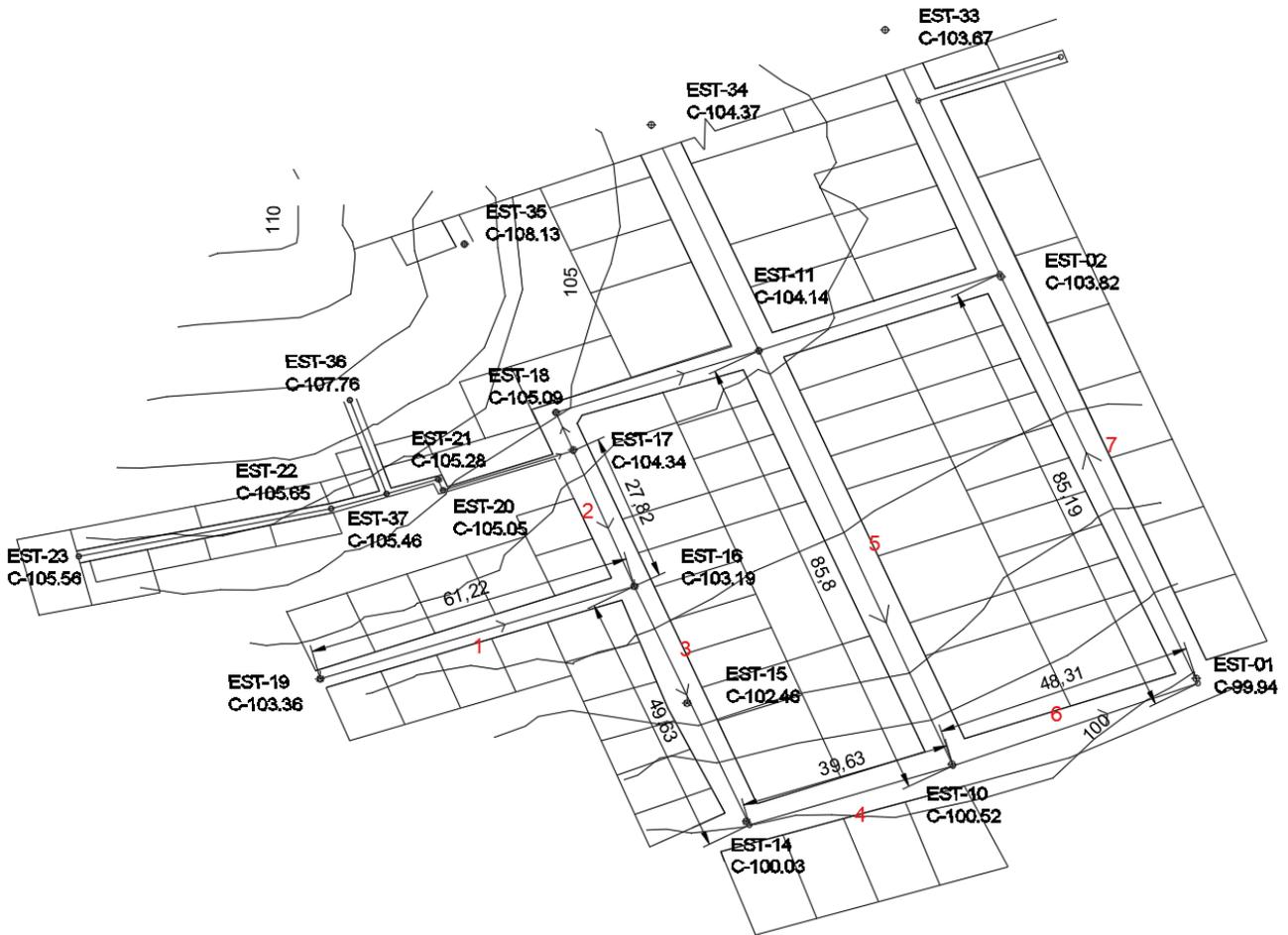


Figura 23. Puntos de descarga 5, 6 y 7.

PRÁCTICA No. 4. CAUDAL PLUVIAL

1. Propósito de la práctica:

- 1.1 Diseñar un tramo de tubería para un alcantarillado pluvial.
- 1.2 Diseñar los pozos de visita para un tramo de alcantarillado pluvial.

2. Marco Teórico:

Pozos de visita: Estos forman parte del sistema de alcantarillado pluvial y sirve de fácil acceso para realizar tareas de inspección, mantenimiento y reparación para la infraestructura subterránea.

Diámetro mínimo de pozos de visita

Diámetro de la tubería	Diámetro mínimo del pozo (m)
10"	1.50
12"	1.50
16"	1.50
18"	1.50
20"	1.50
24"	1.75
30"	1.75
36"	2.00
42"	2.25
60"	2.80

No se permite colocar un pozo de visita con una distancia mayor a 100 metros entre ellos, para diámetros de hasta 24" y una distancia mayor a 300 metros en diámetros superiores a 24".

Caudal de diseño

La ecuación a utilizar para determinar el caudal pluvial, es por el Método Racional y es la siguiente:

$$Q = \frac{C * I * A}{360}$$

Donde:

Q = Caudal en m³ / seg

C = Relación entre la escorrentía y la cantidad de lluvia caída

I = Intensidad de lluvia en mm / hora

A = Área tributaria en hectáreas

Intensidad de lluvia: Es el espesor de la lámina de agua caída durante cierto tiempo, suponiendo que toda el agua permanece en su sitio, se mide en milímetros por hora y se determina de acuerdo a las curvas de intensidad de lluvia.

Para cada proyecto se utilizará una ecuación diferente, que depende del área donde se esté realizando el proyecto y del periodo de retorno del mismo.

Coefficiente de escorrentía: Es el porcentaje del agua total llovida tomada en consideración, ya que no toda la lluvia drena por la alcantarilla natural o artificial y esto se debe a que el agua se evapora, se infiltra o es absorbida por áreas jardinizadas, el coeficiente de escorrentía se toma en consideración para los cálculos hidráulicos y es un porcentaje del agua total llovida. Por lo que existirá diferente coeficiente para cada tipo de terreno, mientras más impermeable sea el terreno, mayor será el valor del coeficiente de escorrentía.

El coeficiente de escorrentía se calculará de la siguiente manera:

$$C = \frac{\Sigma(c * a)}{\Sigma a}$$

Donde:

C = Coeficiente de escorrentía para cada una de las áreas parciales.

a = Áreas parciales

c = Coeficiente de escorrentía promedio del área drenada.

SUPERFICIE	C	ADOPTADA
Techos	0.70 a 0.95	0.70
Pavimentos de concreto y asfalto	0.85 a 0.90	
Pavimentos de piedra, ladrillo o madera en buenas condiciones	0.75 a 0.85	0.75
Pavimentos de piedra, ladrillo o madera en malas condiciones	0.60 a 0.70	

Calles Macadamizadas	0.25 a 0.60	
Calles y banquetas de arena	0.15 a 0.30	
Calles sin pavimento, lotes desocupados, etc.	0.10 a 0.30	
Parques, cachas, jardines, prados, etc.	0.05 a 0.25	0.05
Bosques y tierra cultivada	0.01 a 0.20	

Fuente: Departamento de Acueductos y Alcantarillados, Dirección General de Obras Públicas, tabla No. 1

3. Práctica 4: Cálculo de caudal pluvial.

Cálculo del coeficiente de escorrentía promedio

Áreas de diferentes superficies:

Áreas con adoquín = 15.75 Ha.

Áreas techadas = 24.14 Ha.

Patios, lotes y jardines= 37.71 Ha.

Con estos datos se obtiene el coeficiente de escorrentía promedio, calculándolo de la siguiente forma:

$$C = \frac{0.75 * 15.75 + 0.70 * 24.14 + 0.05 * 37.71}{77.63} = 0.394$$

Tiempo de concentración de la cuenca

Es el tiempo en minutos que tarda una gota de agua en escurrir desde el punto más lejano de la cuenca, hasta el punto en análisis. Para los tramos iniciales, se tomará un tiempo de concentración de 12 minutos, pero cuando lleguen varios ramales a un mismo punto, se tomará el tiempo de concentración mayor. Para todos los demás tramos, el tiempo de concentración se estima con la siguiente ecuación:

$$T_c = T_1 + \left| \frac{L1}{60 * V1} \right|$$

Donde:

TC = Tiempo de concentración hasta el tramo considerado

T1 = Tiempo de concentración hasta el tramo anterior

L = Longitud del tramo anterior

V1 = Velocidad a sección llena en el tramo anterior

De acuerdo al análisis hidrológico se tiene que:

T1 = 12.5 min

L = 58.34m

V1 = 2.77 m/seg

$$T_c = T_1 + \left| \frac{L1}{60 * V1} \right|$$

$$T_c = 12.5min + \left| \frac{58.34m}{60 \frac{seg}{min} * 2.77 \frac{m}{seg}} \right| = 12.85min$$

La intensidad de lluvia se determina con la siguiente ecuación:

$$i = \frac{1160}{(T_c + 5)^{0.705}}$$

$$i = \frac{1160}{(12.85 + 5)^{0.705}} = 152.05 \text{ mm/hora}$$

El caudal por agua pluvia sería:

$$Q = \frac{C * I * A}{360} = \frac{0.394 * 152.05 \frac{mm}{hr} * 77.63 \text{ Ha.}}{360}$$

$$Q = 12.92 \text{ m}^3/\text{seg}$$

HOJA DE TRABAJO No. 4

Calcule el caudal pluvial de los siguientes datos.

Coeficiente de escorrentía: $C = 0.398$

Tiempo de concentración: $T_c = 12.11 \text{ min}$

BIBLIOGRAFÍA

- Instituto de Fomento Municipal. Normas generales para el diseño de alcantarillados. Guatemala, 2001 (Pág. 6, 7 y 8).
- Consejo de desarrollo urbano y rural. Manual para los equipos de planificación Diseño de obras tipo.
- Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Comisión Nacional del Agua. México, 2005.
- Manuel Agustin Lux Monroy. Medidores de flujos en canales abiertos. Guatemala, septiembre del 2010.
- Instituto privado de investigación sobre el cambio climático. Manual de medición de caudales. Guatemala, 2017.