

MANUAL DE LABORATORIO DE RIEGOS Y DRENAJES



OCTAVO SEMESTRE

2026

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES

DÍA	HORARIO	ACTIVIDAD
Lunes	08:00-12:00	Práctica 1: Aforo de Caudales
Martes	08:00-12:00	Práctica 2: Diseño de riego
Miércoles	08:00-12:00	Práctica 3: Conductividad hidráulica
Jueves	08:00-12:00	Práctica 4: Diseño de Drenajes
La evaluación virtual estará habilitada del 26 de octubre de 2026 a las 8:00 al 30 de octubre de 2026 a las 18:00. Para tener derecho al examen final y aprobar el curso, es obligatorio asistir a las prácticas presenciales, realizar las tareas, hojas de trabajo y completar la evaluación en línea dentro del período establecido.		

MATERIAL NECESARIO PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS

Cada estudiante deberá traer los siguientes materiales según corresponda en la práctica:

No.	Reactivos y Material
1	Cubeta de volumen conocido (20 Litros) Cronómetro Hojas de papel Calculadora Lápiz Borrador Sacapuntas
2	2 lb de tierra de los primeros 30 centímetros de un cultivo 1 galón de agua 1 bote de aluminio de 500 ml 1 pedazo de lámina de 50cm X 50cm Computadora laptop
3	1 tubo HG de 2 pulgadas de diámetro y 10 cm de largo 1 tubo PVC de 2 pulgadas de diámetro y 15 cm de largo 1 tubo PVC de ½ pulgada de 20 cm de largo 1 adaptador hembra de 2 pulgadas (liso en los dos extremos) 2 tapones PVC de 2 pulgadas 1 reductor PVC de 2 Pulgadas a ½ pulgada 1 adaptador macho rosca de ½ pulgada 1 adaptador hembra rosca de ½ pulgada 1 llave de paso de ½ pulgada 25 centímetros cuadrados de cedazo o tela de velo Hule 50 cm de manguera transparente de ½ pulgada Recipiente con capacidad para 5 litros Azadón Cinta métrica o flexómetro
4	Pala Machete Metro 3 metros de tubo de PVC de 4 pulgadas, con agujeros de 0.5-1 cm de diámetro a cada 20 centímetros a lo largo del tubo 2 cubetas llenas de piedrín (Cubetas de 19 litros) Libreta Calculadora

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).

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.

5. Si sale del salón de clases sin la autorización del docente perderá el valor de la práctica.
6. No puede atender visitas durante la realización de la práctica.
7. El horario de receso es únicamente de 15 minutos.
8. **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 punteo y aprobar el curso deberá presentarse a las prácticas y realizar las evaluaciones en línea, las cuales estarán habilitadas del **26 de octubre de 2026 a las 8:00 al 30 de octubre 2026 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. Propósito 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.

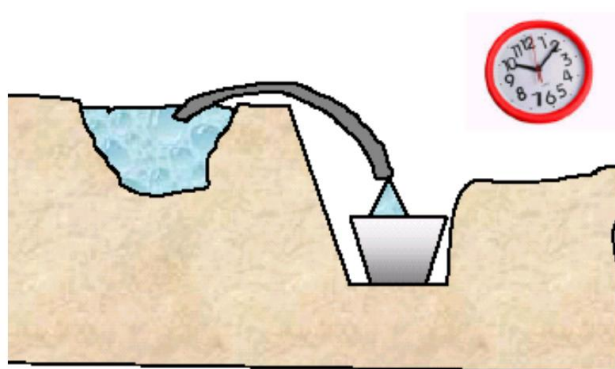


Figura. 1 Método Volumétrico.

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.

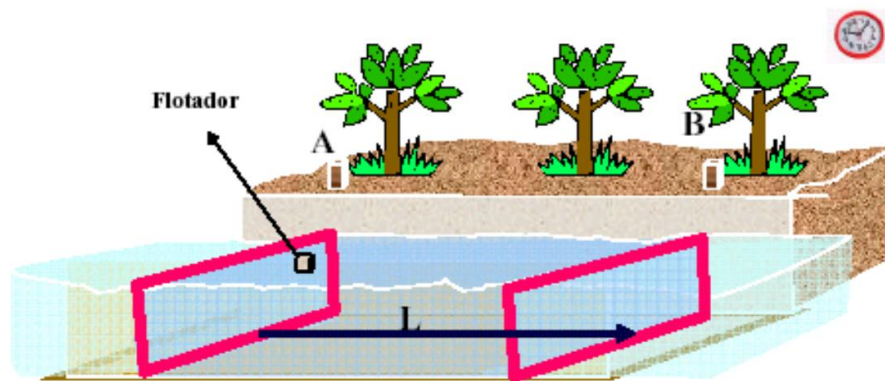


Figura. 2 Aplicación del método del flotador

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).

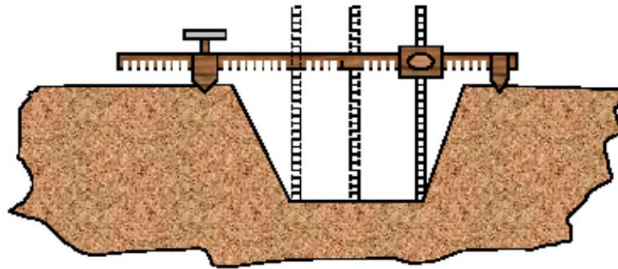


Figura. 3 medición de la sección

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 experimenta

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.

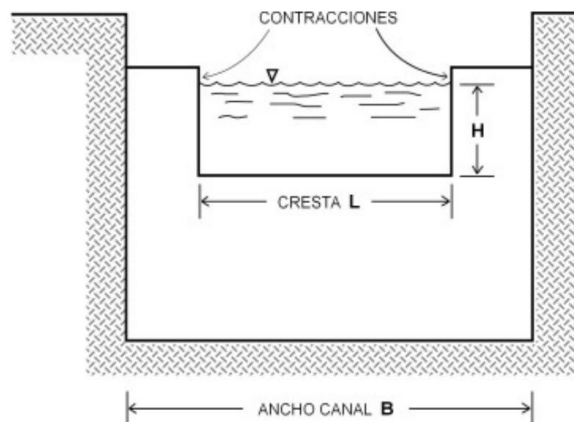


Figura. 5 partes de un vertedero

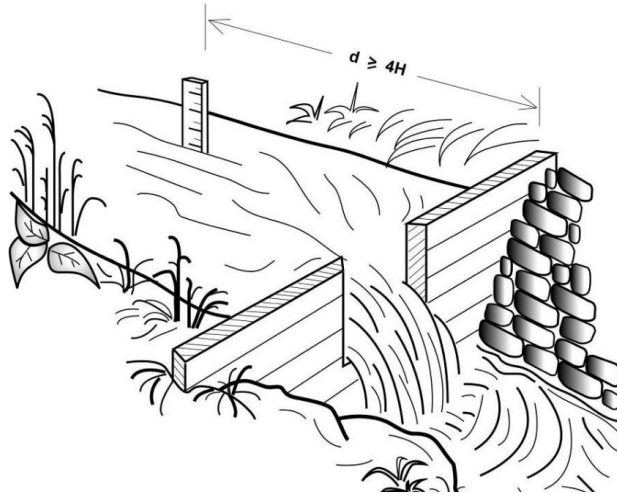


Figura. 6 vertedero en funcionamiento

○ **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)

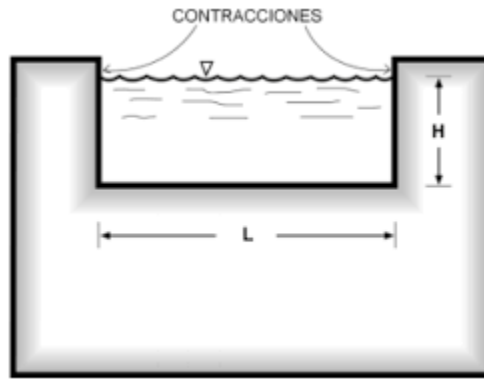


Figura. 7 Vertedero rectangular con contracciones

○ **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

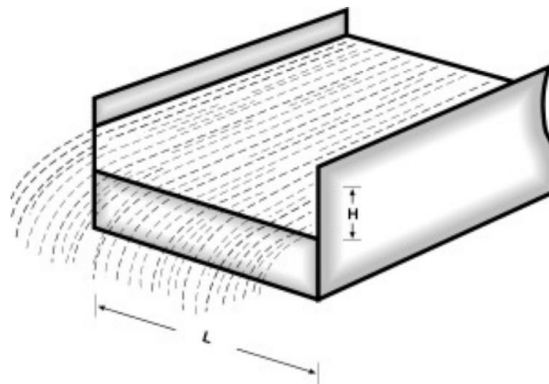


Figura. 8 Vertedero rectangular sin contracciones

- **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 m³/s:

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

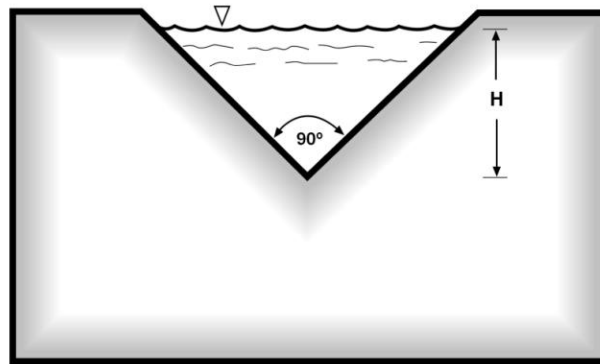


Figura. 9 vertedero triangular

- **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 m³/s.

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

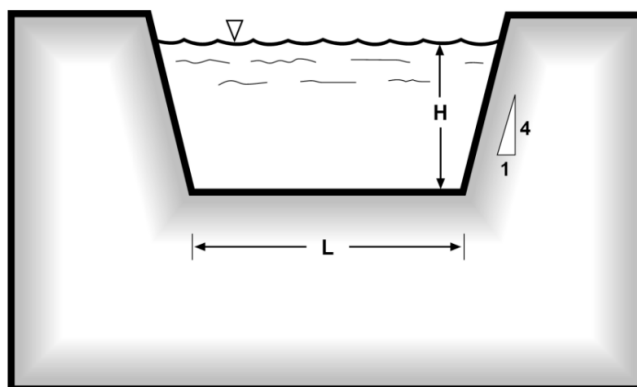


Figura. 10 vertedero trapezoidal

- **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 m³/s.

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

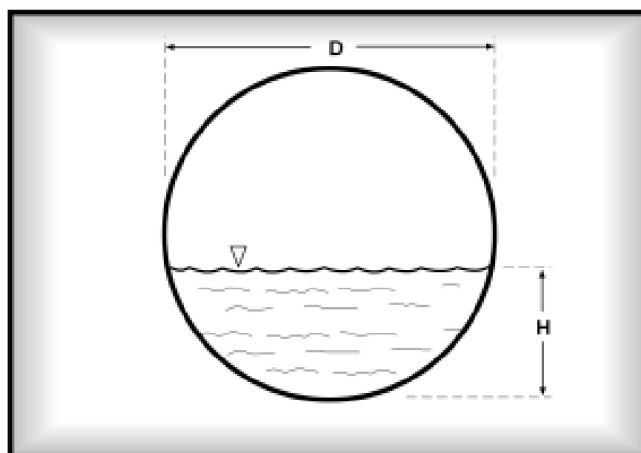


Figura. 11 vertedero circular

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.

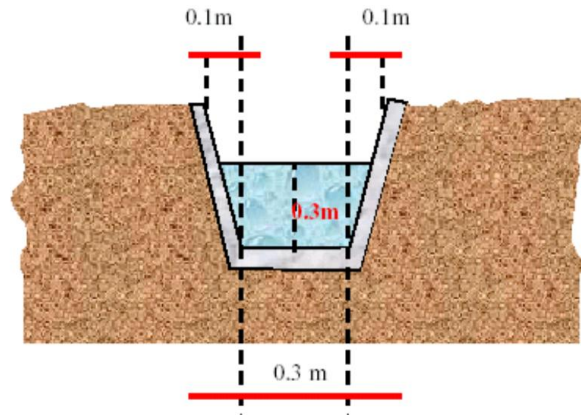


Figura. 12 ejemplo propuesto

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 $0,05\ m^3/s$

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

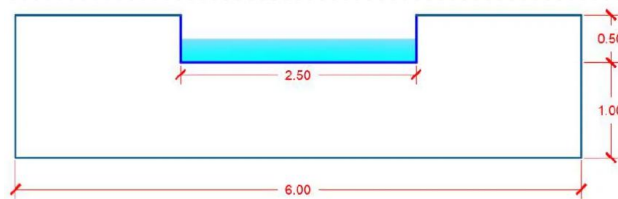
HOJA DE TRABAJO No. 1

Realizar los siguientes cálculos:

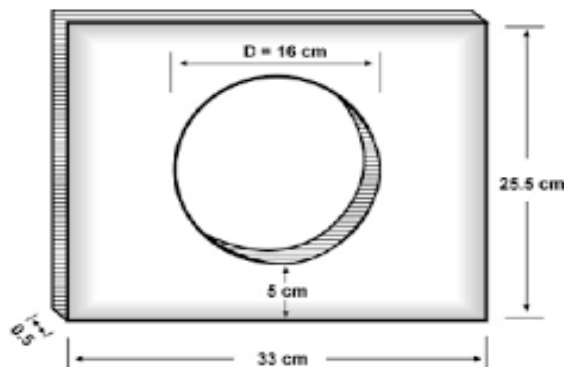
1. Calcular el caudal de una fuente que llena un recipiente de 100 litros en un tiempo promedio de 21.3 segundos
2. Convertir un caudal de 1,166.4 m³/día a L/s
3. Un recipiente cilíndrico de 60 cm de altura y radio de 30 cm, logro captar un caudal de 5.3 L/s, calcule el volumen del recipiente y el tiempo 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

DISEÑO DE RIEGO

1. Propósito de la práctica:

- 1.1. Conocer el concepto de humedad del suelo y su importancia
- 1.2. Determinar la humedad del suelo por los métodos: gravimétrico, al tacto y combustión
- 1.3. Conocer las diferentes formas de riego utilizados en la agricultura
- 1.4. Aprender sobre el diseño de riego en los cultivos
- 1.5. Utilizar herramientas digitales para diseñar sistemas de riego

2. Marco Teórico

Humedad del suelo

La humedad juega un rol fundamental en el comportamiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El agua del suelo transporta sustancias a través del perfil de este. El régimen de humedad de un suelo determina los tipos de plantas que crecerán en este, afectando además la forma en que se distribuyen las raíces.

El contenido de humedad del suelo puede cambiar rápidamente, pudiéndose incrementar en minutos u horas. En contraste, la fase de secamiento puede tomar semanas o meses. El contenido de humedad de los suelos típicamente se encuentra en un rango de 5 a 50 % cuando se encuentran en su máxima capacidad de retención (capacidad de campo).

El agua del suelo

El agua se retiene en el suelo en los poros entre las partículas del suelo. Por lo tanto, la cantidad máxima de agua que un suelo específico puede contener es igual a su porosidad (el volumen total de los poros).

Existen tres tipos de agua del suelo: agua gravitacional, agua capilar y agua higroscópica. Cada tipo se ve afectado por diferentes fuerzas que actúan sobre el agua en el suelo

El agua gravitacional es el agua que se mueve a través del suelo por la fuerza de la gravedad. Este tipo de agua se mueve en los poros más grandes del suelo y drena rápidamente.

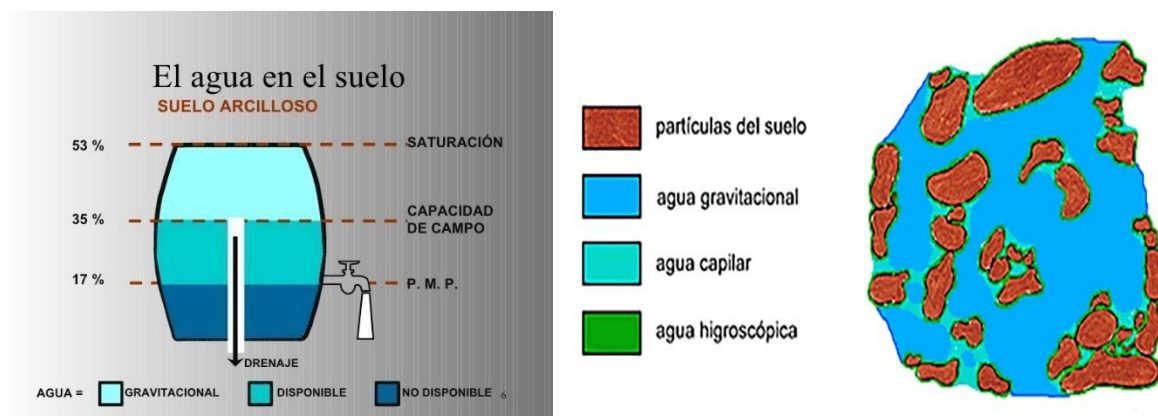
El agua higroscópica es una capa delgada de agua, en forma de vapor, adhiere fuertemente a las partículas del suelo por fuerzas superficiales. El agua higroscópica no está disponible para las plantas.

El agua capilar es el agua que se mantiene dentro de los poros del suelo contra la gravedad. Las fuerzas capilares que retienen el agua en el suelo son el resultado de la relación entre las fuerzas de adhesión y cohesión. La adhesión es la tendencia de las moléculas de agua a adherirse a otras superficies. La cohesión es la tendencia de las moléculas de agua a adherirse una a la otra. Las fuerzas capilares son más fuertes cuando

la adhesión es mayor que la cohesión. La adhesión es más fuerte en poros más pequeños. (Sela, 2020)

Capacidad de campo y Punto de Marchitez Permanente

Los suelos contienen diferente cantidad de agua dependiendo de su textura y estructura. El límite superior de almacenamiento de agua se denomina con frecuencia “capacidad de campo” (CC), mientras que el límite inferior se denomina “punto de marchitamiento permanente” (PMP). Después de un evento de lluvia o de riego que satura el suelo, hay un rápido movimiento descendente (drenaje) de una parte del agua del suelo debido a la fuerza de gravedad. Durante el proceso de drenaje, la humedad del suelo disminuye continuamente.



Fuente: Infoagrónomo s.f.

Fuente: Edafología.net s.f.

La velocidad de drenaje está relacionada con la conductividad hidráulica del suelo. En otras palabras, el drenaje es más rápido en los suelos arenosos en comparación con los suelos arcillosos. Después de un tiempo, el rápido drenaje se hace insignificante y en ese punto, la humedad del suelo se denomina “capacidad de campo”. El punto de marchitez permanente se define como el contenido de humedad del suelo en el que la planta ya no tiene la capacidad de absorber agua del suelo haciendo que la planta se marchite y muera si agua adicional no es proporcionada.

Sin embargo, la mayoría de las plantas estarán sometidas a un estrés hídrico significativo antes de este punto, y será muy factible que las plantas sufran una reducción importante en su rendimiento mucho antes de alcanzar el punto de marchitamiento. La cantidad total de agua disponible para absorción de la planta es el “agua disponible para la planta” (ADP) que es la diferencia entre CC y PMP.

Humedad gravimétrica y Humedad Volumétrica

Humedad Gravimétrica (Hg): Es la relación entre la masa de la fracción líquida (agua o solución) y la masa de la fracción sólida. Por ejemplo, un suelo con 20 % de humedad tiene 20 g de agua en 100 g de suelo seco o 20 tn de agua en 100 tn de suelo seco.

Humedad Volumétrica (θ). Es la relación entre el volumen de la fracción líquida (agua o solución) (V_a) y el volumen de la muestra (V). Por ejemplo, en un suelo con una humedad volumétrica de 0,24 contiene 0,24 cm³ de agua en un cm³ de suelo, o 0,24 m³ de agua en 1 m³ de suelo. (Gil)

Relación entre la humedad gravimétrica y la humedad volumétrica.

Para convertir la humedad gravimétrica (H_g) en la fórmula volumétrica (θ) hay que afectarla por la densidad aparente del suelo (DA). Utilizando la siguiente fórmula:

$$\theta = H_g * DA$$

Métodos para determinar el contenido de humedad del suelo

El contenido de humedad de un suelo se puede determinar por métodos directos e indirectos, a continuación, se hace referencia a ambos métodos desde la importancia que tienen en el manejo eficiente del agua de riego se aconseja hacer las determinaciones de humedad en estratos de el mismo grosor o profundidad que los usados para la determinación de las propiedades físicas del suelo o sea de 30 cm de grosor.

SISTEMA DE RIEGO

Se le llama sistema de riego al conjunto de **estructuras que permiten aplicar agua al suelo**, generalmente para proporcionar suficiente hidratación a un **cultivo**. Normalmente está compuesto de **tubos, bombas hidráulicas y aspersores**. (Ferroval, s.f.)

Los sistemas de riego se utilizan para garantizar que grandes extensiones de vegetación reciban suficiente agua, minimizando el esfuerzo humano, así como las pérdidas de recursos hídricos.

Algunas de las aplicaciones más importantes de los sistemas de riego son:

- Agricultura.
- Mantenimiento de áreas verdes a lo largo de las carreteras.
- Riego de parques y jardines públicos y privados.

Tipos de sistemas de riego

Según los sistemas utilizados, el riego puede ser:

- **Por surcos**

Es uno de los sistemas de riego más tradicionales y antiguos. Consiste en la excavación de surcos a lo largo del cultivo por los cuales baja el agua gracias al efecto de la gravedad. Este tipo de riego se puede implementar únicamente en terrenos con determinadas características topográficas. Sin embargo, gracias a sus características, permite el aprovechamiento de recursos naturales (ríos, pendientes, etc.) y minimiza la inversión energética.

Es un sistema de fácil implementación, pero es poco eficiente (necesita grandes cantidades de agua), y las malas prácticas pueden reducir su eficiencia aún más. El riego por surcos es de difícil aplicación en temporadas de sequía extrema; tampoco permite la automatización, ni el control de flujos. Otros riesgos del riego por surcos es el drenaje incorrecto, que puede ocasionar empozamientos.

- **Por aspersión**

Los aspersores, conectados a mangueras, son dispositivos capaces de arrojar agua en una dirección y con una distancia variable según la presión. El agua de los aspersores se difunde de manera similar a la lluvia, y su alcance oscila entre los 10 y los 60 metros de distancia.

La ubicación de los aspersores es fundamental para evitar sobre riego y empozamiento de aguas, y también zonas muertas que no reciban agua. Por otro lado, la presión debe regularse según la superficie a regar y el tipo de plantas, para evitar que las hojas sufran daños.

El riego por aspersión puede hacerse utilizando aspersores fijos (clavados en la tierra) o móviles. Los aspersores fijos se utilizan para superficies poco extensas y con mayores requerimientos estéticos (como los parques y jardines). Por su parte, los aspersores móviles suelen utilizarse en grandes cultivos, tanto en zonas planas como inclinadas, y tienen diferentes patrones, que les permiten distribuir el agua de manera más eficiente.

Además de proporcionar humedad en la tierra para la nutrición vegetal, los aspersores cumplen otras funciones que la lluvia realiza en la naturaleza, como la limpieza de las hojas de polvo y otras partículas. Sin embargo, esto también puede tener consecuencias negativas en cierto tipo de vegetación que requiere riego directo a las raíces y que es propensa a desarrollar hongos y otras enfermedades si acumula demasiada humedad en las hojas. El riego por aspersión utiliza menos agua que el sistema de riego por surcos, pero más que el riego por goteo.

- **Por goteo**

También llamado riego gota a gota consiste en un gotero instalado a lo largo de una manguera o tubería, que deja caer gotas de agua directamente en la zona de las raíces de las plantas.

Este tipo de riego, muy localizado, reduce la proliferación de vegetación indeseada. Se utiliza en zonas en las que los recursos hídricos son muy limitados, porque minimiza la dispersión.

Las principales desventajas de este sistema de riego son la inversión inicial, la dificultad en el mantenimiento (por posible obstrucción en los sistemas de goteo) y que no puede ser utilizada en cultivos que implican arado, porque la tierra no puede ser removida después de su instalación.

- **Por exudación**

Consiste en una manguera porosa que se entierra a una profundidad aproximada de 10 cm. A diferencia del riego por goteo, este sistema no es localizado, sino que humedece el suelo entero. Gracias a que se aplica de forma subterránea, el agua de riego no se evapora.

El riego por exudación requiere una instalación menos compleja respecto a otros tipos de riego, y permite el cambio de los cultivos. Otra ventaja es que funciona con presiones bajas y variables. Sin embargo, las mangueras son propensas a obstruirse debido a los sedimentos del agua y por la proliferación de algas y moho.

Eficiencia de riego

La eficiencia de los riegos es el máximo aprovechamiento que se hace del agua. Tiene mucho que ver con el método de riego y con la cantidad de agua que se puede desperdiciar durante el recorrido desde la fuente de agua hasta la aplicación en la parcela. Cuanto más alta es la eficiencia, hay menos desperdicio de agua y se hace una mejor utilización. En el método de riego por gravedad tiene mucha importancia el estado del canal que conduce el agua. Si está revestido habrá menos pérdidas de agua que si es de tierra. La calidad va a depender de los siguientes factores:

- Cantidad de agua que recibe el suelo
- Capacidad de infiltración del suelo
- Cantidad de agua que el perfil necesita para retener
- Textura
- Estructura

También la calidad de riego va a depender del tipo de riego, así como de su eficiencia:

Cuadro No. 4 eficiencia de riego según su tipo

MÉTODO DE RIEGO	EFICIENCIA (%)
Riego por gravedad	30 - 70
Riego por aspersión	80 - 85
Riego por goteo	Mayor a 90



Figura. 13 Formas de pérdida de agua en el suelo

Diseño agronómico de riego por goteo

El diseño agronómico representa la primera fase del procedimiento de diseño de cualquier tipo de riego, con el que se determina la cantidad de agua que ha de transportar la instalación, correspondiente a las necesidades brutas de riego en las épocas de máxima necesidad. (Gestiriego, 2016)

Determinación de las necesidades hídricas.

La planta solo utiliza una pequeña parte del agua disponible en sus procesos metabólicos, el resto se pierde por la transpiración del propio vegetal y por evaporación en el suelo, fenómeno conocido como evapotranspiración del cultivo (ETc). La cantidad de agua a aportar deberá ser igual a la ETc para así compensar dichas pérdidas.

ET₀ es la evapotranspiración de referencia, dato que se puede obtener de las estaciones meteorológicas más cercanas de cada provincia.

Kc es un coeficiente propio de cada cultivo, dato que se puede consultar en multitud de referencias, una de ellas es FAO.

$$ET_c = ET_0 \times K_c.$$

Lámina de riego

Como las plantas toman el agua del suelo, los requerimientos hídricos se aplicarán a través del riego, por lo que se hace necesario calcular la lámina de riego que se aplicará al suelo. La lámina de riego (Lr) que depende del tipo de suelo y profundidad de las raíces del cultivo. (Chow, s.f.)

Frecuencia y tiempo de riego.

Una de las ventajas del riego por goteo es el ahorro de agua, precisamente porque no es necesario mojar todo el terreno como ocurre en el riego por inundación. El área mojada o *bulbo húmedo* por el gotero varía según el caudal del mismo, y de la textura del suelo.

El caudal de los goteros va a ser puede ser variable (a menor caudal, mayor obstrucción), y la superficie aproximada que moja un gotero es de aproximadamente un diámetro de 1,25 m, aunque este dato varía en función de la textura del suelo.

Textura del suelo

La textura del suelo representa las cantidades de partículas minerales inorgánicas de diferentes tamaños, es la proporción en porcentaje de arena, limo y arcilla. La proporción y magnitud de varias reacciones físicas, químicas y biológicas en los suelos están gobernadas por la textura, la cual influye en: la preparación mecánica del suelo, la capacidad de retención de humedad, plasticidad, permeabilidad, fertilidad, riego, drenaje; y todas a su vez, determinan la capacidad productiva del suelo. (Fertilab, s.f.)

Densidad aparente del suelo

La densidad aparente es una relación que mide el peso del suelo o sustrato por unidad de volumen. Este indicador tiene gran utilidad para determinar el peso total de un suelo al momento de calcular los niveles nutricionales del mismo partiendo de los análisis de laboratorio, así como también es una expresión del grado de compactación de un suelo o sustrato y permite estimar el grado de aireación y retención de agua del mismo, aspectos de gran utilidad al momento de gerenciar el riego de los cultivos. (Hernández, s.f.)

3. Parte Práctica

3.1. Determinación de Humedad Método gravimétrico

Materiales

100 gr de tierra de los primeros 30 centímetros de un cultivo.

Procedimiento

- Tomar una muestra de suelo de aproximadamente 100 gramos en el campo y guardarla inmediatamente en una caja o bote de metal (aluminio de preferencia) con tapadera hermética para evitar pérdida por humedad (puede usarse también un frasco de vidrio con tapadera hermética).
- Pesar la muestra para obtener el peso del suelo húmedo (Psh)
- Destapar y colocar la muestra de suelo en un horno especial para secado de muestras a una temperatura de 105 a 110° C durante 18 a 24 horas.
- Pesar la muestra para obtener el peso de suelo seco (Pss) y se aplica la ecuación para calcular el porcentaje de humedad en base al peso del suelo seco (Pss). La muestra del suelo en el campo puede tomarse con varios tipos de barreno, siendo los más usados el helicoidal y el tipo Oakfield.

$$Ps = \frac{Psh - Pss}{Pss} \times 100$$

Ps = contenido de humedad con base a peso de suelo seco (%)

Psh = peso de suelo húmedo (gr)

Pss = peso de suelo seco (gr)

3.2. Método al tacto

Materiales

2 lb de tierra de los primeros 30 centímetros de un cultivo

1 galón de agua

Procedimiento

- Separar la tierra en tres pequeñas cantidades proporcionales.
- La primera parte con tierra seca, la segunda con exceso de agua y la tercera la mojaremos poco a poco hasta llegar a capacidad de campo.
- De la primera parte tomamos una porción de tierra que nos quepa en la mano, la apretamos y abrimos la mano, observaremos que la porción que tomamos se desmorona, esto nos indica que el contenido de humedad del suelo es bajo y necesita riego.
- Tomamos la segunda parte que le agregamos mucha agua y que está muy húmedo, lo apretamos y observaremos como escurrirá agua a través de los dedos y de la mano, esto nos indica que el suelo tiene exceso de humedad y no necesita regarse hasta que su contenido de humedad baje.
- Finalmente tomamos tierra de la última porción de tierra y aplicamos poco a poco agua, mientras apretamos la tierra en nuestra mano, cuando podemos apretar y no escurre agua y si al abrir la mano no se desmorona y queda como una plasta sólida entonces podemos decir que está a capacidad de campo. Y este es el punto óptimo de humedad del suelo cuando tenemos un cultivo establecido.
- Determinar porcentaje de falta de humedad utilizando los siguientes cuadros e imagen. Para mayor ilustración del procedimiento, ingresar en el enlace y obtener el documento de apoyo:

<https://drive.google.com/file/d/1PfXk5gO7YI5qyozyrBUat75tazXvq3Cq/view?usp=sharing>

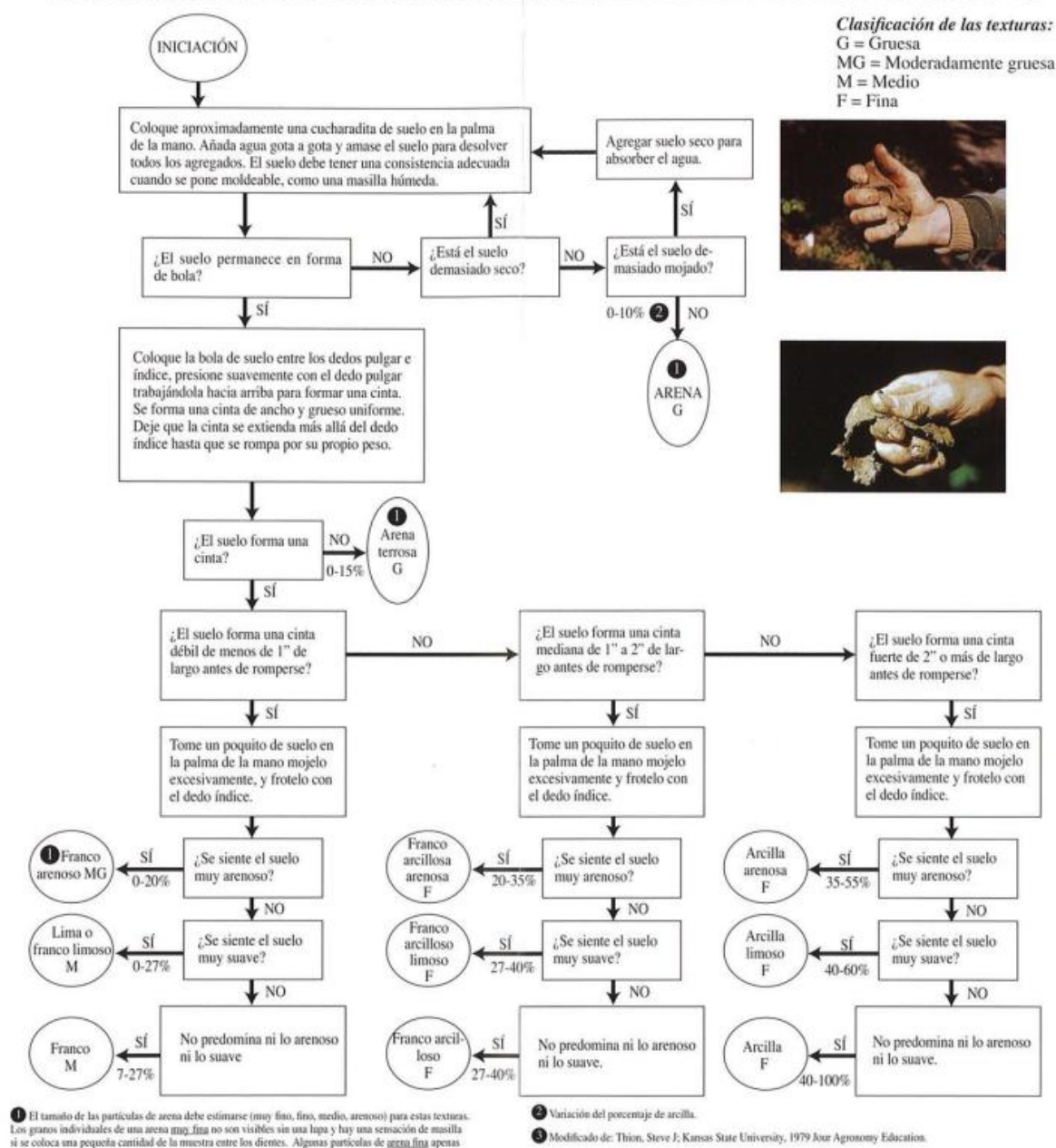
	Textura gruesa-Arena fina y arena fina francosa	Textura modadamente gruesa - Franco arenosa y franco arenoso fino	Textura media-Franco arenoso arcilloso, franco y limoso gruesa franco limoso	Textura fina-Arcilla, franco arcilloso y franco arcilloso limoso
Capacidad de Agua Disponible (Pulgadas/Pie)				
	0.6-1.2	1.3-1.7	1.5-2.1	1.6-2.4
Porcentaje de humedad disponible en el suelo	La Reducción de Humedad en el Suelo (RHS) en pulgadas por pie cuando el tacto y la apariencia del suelo son como se describe:			
0-25	Seco, se mantiene junto si no se molesta, quedan granos finos en los dedos cuando se ejerce presión. RHS 1.2-0.5	Seco, forma una bola muy débil ¹ , los granos agregados se caen fácilmente de la bola. RHS 1.7 - 1.0	Seco, los agregados del suelo se caen fácilmente, no deja humedad en los dedos, los terrones se desmoronan al ejercer presión. RHS 2.1 - 1.1	Seco, los agregados del suelo se caen fácilmente, los terrones difícilmente se desmoronan al ejercer presión. RHS 2.4 - 1.2
25-50	Ligeramente húmedo, forma una bola débil con las marcas de los dedos bien definidas, una capa ligera de granos de arena suelta quedan en los dedos. RHS 0.9-0.3	Ligeramente húmedo, forma una bola débil con las marcas de los dedos definidas, color oscuro, no deja manchas de agua en los dedos, los granos se caen. RHS 1.3 - 0.7	Ligeramente húmedo, forma una bola débil con superficie rugosa, no deja manchas de agua en los dedos, pocos granos de agregado se caen. RHS 1.6 - 0.8	Ligeramente húmedo, forma una bola débil, muy pocos granos de agregado se caen, no deja manchas de agua, los terrones se aplanan al ejercer presión. RHS 1.0 - 0.8
50-75	Húmedo, forma una bola débil y quedan granos de arena sueltos y agregados en los dedos, color oscuro, quedan manchas moderadas de agua en los dedos, no forma cinta. ² RHS 0.6-0.2	Húmedo, forma una bola con las marcas de los dedos definidas, deja manchas muy ligeras de suelo/agua en los dedos, color oscuro, no se pega. RHS 0.9 - 0.3	Húmedo, forma una bola, deja manchas muy ligeras en los dedos, color oscuro maleable, forma un cinta débil entre los dedos pulgar e índice. RHS 1.1 - 0.4	Húmedo, forma una bola suave con marcas definidas de los dedos, deja manchas ligeras de suelo/agua en los dedos, forma una cinta entre los dedos pulgar e índice. RHS 1.2 - 0.4
75-100	Mojado, forma una bola débil y deja en los dedos granos de arena sueltos y agregados, color oscuro, quedan marcadas manchas de agua en los dedos, no forma cinta. RHS 0.3-0.0	Mojado, forma una bola que deja marca húmeda en la mano, quedan manchas leves/medias en los dedos, forma una cinta débil entre los dedos pulgar e índice. RHS 0.4 - 0.0	Mojado, forma una bola con marcas bien definidas de los dedos, deja una capa ligera/gruesa de suelo/agua en los dedos, forma cinta entre los dedos pulgar e índice. RHS 0.5 - 0.0	Mojado, forma una bola, deja una capa irregular de mediana a gruesa en los dedos, forma fácilmente una cinta entre los dedos pulgar e índice. RHS 0.6-0.0
Capacidad de campo (100 por ciento)	Mojado, forma una bola débil, queda una capa moderada a gruesa de suelo/agua en los dedos, deja en la mano señales mojadas de la bola blanda. RHS 0.0	Mojado, forma una bola blanda, aparece un poco de agua en la superficie cuando se comprime o se sacude, deja una capa de mediana a gruesa en los dedos. RHS 0.0	Mojado, forma una bola blanda, aparece un poco de agua en la superficie cuando se comprime o se sacude, deja una capa de mediana a gruesa de suelo/agua en los dedos. RHS 0.0	Mojado, forma una bola blanda, aparece un poco de agua en la superfine cuando se comprime o se sacude, deja una capa pegajosa de suelo/agua en los codos, resbaloso y pegajoso. RHS 0.0

¹La bola se forma comprimiendo la mano llena de tierra con firmeza, solamente con esa mano.

²La cinta se forma cuando se comprime la tierra entre los dedos pulgar e índice.

Fuente: USDA, 2000

DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO POR MEDIO DEL “MÉTODO DEL TACTO” ③



Fuente: USDA, 2000

3.3. Método de secado por combustión de alcohol

Materiales

1 bote de aluminio de 500 ml

2 lb de tierra

1 pedazo de lámina de 50cm X 50cm

Procedimiento

- Pesar 50 gramos de tierra (peso de suelo húmedo)
- Colocar la tierra en el bote de aluminio
- Agregar alcohol hasta cubrir la muestra
- Colocar la muestra sobre la lámina
- Prender fuego
- Agitar para hacer uniforme el fuego y deshidratar toda la muestra
- Dejar enfriar
- Pesar la muestra de tierra seca (peso de suelo seco)

$$Ps = \frac{Psh - Pss}{Pss} \times 100$$

Ps= contenido de humedad con base a peso de suelo seco (%)

Psh= peso de suelo húmedo (gr)

Pss= peso de suelo seco (gr)

3.4. Diseño de Sistema de Riego

Necesidad riego para el cultivo de tomate

Para iniciar el cálculo del diseño, se necesitan saber una serie de datos relacionados a las condiciones del suelo y el cultivo, los cuales se especifican en la siguiente tabla, estos datos pueden variar en base a la zona de trabajo y el cultivo que se maneja. (Guevara, 2021)

Área bruta	11.8	Ha
Evapotranspiración	5	Mm/día
Textura	Franco Arcillosa	
Horas disponibles	16	horas
Laterales de riego		
Flujo o Caudal	1.05	Litros/hora
Distancia entre goteros	0.3	metro
Distancia entre surcos	1.5	metro
Presión de operación	1	

Con base a la textura del suelo, si no se tiene un análisis de laboratorio, se procede a determinar la Densidad aparente, Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente con la tabla que se presenta.

Textura	Densidad aparente	Capacidad de campo	Pto. Marchitez Permanente	Agua Disponible o retención total	
	kg/l	%HG	%HG	%HG	%HV
Arenoso (duna)	1.50	4.60	1.40	3.20	4.80
Arenoso	1.56	7.50	1.80	5.70	8.89
Franco Arenoso	1.55	10.00	3.30	6.70	10.39
Franco	1.69	18.00	13.20	4.80	8.11
Franco Arcilloso	1.44	22.90	11.90	11.00	15.84
Arcilloso	1.33	27.10	14.90	12.20	16.23
Arcilloso pesado	1.47	28.00	18.20	9.80	14.41
Arcilloso muy pesado	1.31	35.60	25.00	10.60	13.89

Confrontando ambas tablas, teniendo en cuenta que el suelo a trabajar posee una textura Franco Arcillosa, y tomando una profundidad efectiva de raíces para el cultivo de 300 mm o 30 cm, se obtienen los datos deseados y se esquematizan a continuación.

CC	22.90%	%HG
PMP	11.90%	%HG
Densidad	1.44	g/cm ³
Profundidad efectiva de raíz	400	mm
% de agotamiento (LARA)	35	%

Como primer paso, se calcula el **PAR** o % de área regada, para ello se debe conocer el ancho de bulbo de mojado, lo cual está en relación con la textura, se tomará en consideración los datos que muestra el siguiente cuadro.

Textura	ancho de bulbo (m)
Livianos	0.7
Medios	0.9
Pesados	1.1

La textura es franco arcilloso, por lo cual se asignará dentro las texturas Pesadas, la cual tiene un valor de 1.1 metros de ancho de bulbo húmedo. Para obtener el par se aplicará la siguiente fórmula:

$$PAR = \frac{\text{Ancho de bulbo (m)}}{\text{Distancia entre surcos (m)}} \times 100$$

$$PAR = \frac{1.1 \text{ metros}}{1.5 \text{ metros}} \times 100 = 73.33\%$$

Luego se determinará la **Precipitación**, que se define como la velocidad en el que el sistema de riego descarga el agua en el suelo, este parámetro se calcula con la formula:

$$Precipitación = \frac{Caudal\ del\ gotero\ (\frac{l}{h})}{(Dist.\ goteros\ (m) \times Dist.\ surcos\ (m))} = mm/h$$

Utilizando los datos del ejercicio:

$$Precipitación = \frac{1.05\ l/h}{(0.3\ m \times 1.5\ m)} = 2.33\ mm/h$$

En el siguiente paso se calcula la **Demanda Hídrica Bruta**, que es la cantidad de agua que se necesitará aplicar al cultivo, tomando en cuenta la evapotranspiración y la eficiencia del método de riego, para este caso se usará un 90%.

$$Demanda\ Hídrica\ Bruta = \frac{Evapotranspiración\ (mm/día)}{Eficiencia\ (decimal)}$$

$$Demanda\ Hídrica\ Bruta = \frac{5\ mm/día}{0.9} = 5.56\ mm/día$$

Continuando el diseño, se determinarán la **Lámina de llenado del suelo**, es decir el primer riego que se aplicará y la **Lámina de reposición**, lo cual está en dependencia del porcentaje de agotamiento (LARA), este último parámetro queda a criterio del profesional, tomando el suelo como un reservorio, que oscila entre la Capacidad de Campo y el punto de Marchitez Permanente. Para calcular lo antes mencionado, se usarán las fórmulas que siguen.

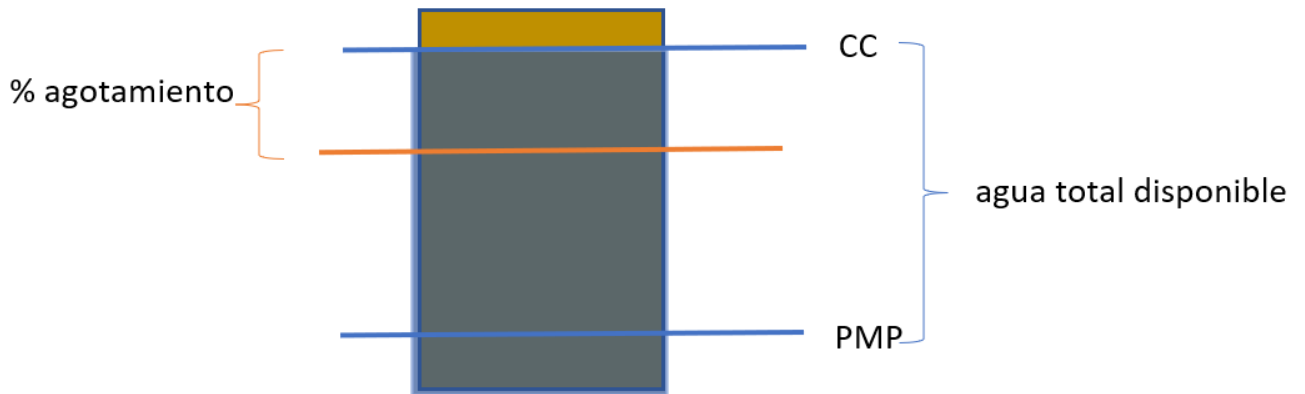
Nuestro primer riego o de CC

$$L_{suelo} = \left(\frac{CC - PMP}{100} \right) \frac{Pe_{suelo}}{Pe_{agua}} * prof\ raices * \boxed{} * PAR$$



Para Reposición

$$L_{suelo} = \left(\frac{CC - PMP}{100} \right) \frac{Pe_{suelo}}{Pe_{agua}} * prof\ raices * \%Ago. * PAR$$



Aplicando las fórmulas al ejercicio en cuestión, se obtiene lo siguiente:

$$\text{Lámina de llenado} = \left(\frac{22.9\% - 11.9\%}{100} \right) \left(\frac{1.44 \frac{g}{cm^3}}{1 \frac{g}{cm^3}} \right) * 400 \text{ mm} * \frac{73.33}{100} = 46.46 \text{ mm}$$

La lámina de reposición quedaría de la siguiente manera:

$$\text{Lámina de reposición} = \left(\frac{22.9\% - 11.9\%}{100} \right) \left(\frac{1.44 \frac{g}{cm^3}}{1 \frac{g}{cm^3}} \right) * 400 \text{ mm} * \frac{73.33}{100} * \frac{35}{100} = 16.26 \text{ mm}$$

Procederá a calcular la **Frecuencia de riego**, lo que indicará cada cuanto tiempo se debe encender el sistema.

$$\text{Frecuencia de riego} = \frac{\text{Lámina de reposición (mm)}}{\text{Demanda hídrica bruta } \left(\frac{mm}{día} \right)}$$

$$\text{Frecuencia de riego} = \frac{16.26 \text{ mm}}{5.56 \text{ mm/día}} = 2.92 \text{ días}$$

En este punto, se encuentra un inconveniente, ya que el resultado da un valor decimal y en término de días, lo que no es práctico, por lo cual se debe modificar el porcentaje de agotamiento (LARA), de manera que cambie la lámina de reposición, dando una cantidad exacta en el número de días, buscando aproximarse al entero más cercano, que para este caso es 3 días. El LARA debe de ser de 35.87%, utilizando el programa Excel se puede aplicar una herramienta específica de redondeo llamada *buscar objetivo*, que se encuentra en la pestaña de datos y luego se selecciona en análisis de hipótesis. Modificando LARA se obtiene:

$$\text{Lámina de reposición} = \left(\frac{22.9\% - 11.9\%}{100} \right) \left(\frac{1.44 \frac{g}{cm^3}}{1 \frac{g}{cm^3}} \right) * 400 \text{ mm} * \frac{73.33}{100} * \frac{35.87}{100} = 16.67 \text{ mm}$$

Aplicando la fórmula de frecuencia de riego

$$\text{Frecuencia de riego} = \frac{16.67 \text{ mm}}{5.56 \text{ mm/día}} = 3 \text{ días}$$

Siguiendo con el ejercicio, se determinará el **Tiempo de riego** que estará en funcionamiento el sistema, se calcula con la fórmula:

$$\text{Tiempo de riego} = \frac{\text{Lámina de reposición (mm)}}{\text{Precipitación } (\frac{\text{mm}}{\text{hora}})}$$

$$\text{Tiempo de riego} = \frac{16.67 \text{ mm}}{2.33 \text{ mm/hora}} = 7.15 \text{ horas}$$

En total sería un tiempo de 7 horas, 8 minutos y 24 segundos.

Se determinó que se regara cada 3 días, por lo cual, si se aplicara el riego al área total, quedarían dos días de tiempo ociosos, por ello es conveniente hacer sectores de riego, lo que evita dejar días vacíos, así también permite utilizar una bomba de agua de menor potencia ahorrando costos en su adquisición y combustible. A estas secciones de riego se le llamara número de **Turnos por día** y se calcula de esta manera:

$$\# \frac{\text{Turnos}}{\text{día}} = \frac{\text{Horas disponibles}}{\text{Tiempo de riego (horas)}}$$

$$\# \frac{\text{Turnos}}{\text{día}} = \frac{16 \text{ horas}}{7.15} = 2.23 \approx 2 \text{ turnos/día}$$

Con este dato, se obtiene el **total de sectores** al multiplicar los turnos por día por la frecuencia de riego.

$$\text{Total de sectores} = \frac{\# \text{Turnos/día}}{\text{Frecuencia de riego}}$$

$$\text{Total de sectores} = \frac{2 \text{ turnos/día}}{3 \text{ días}} = 6 \text{ turnos}$$

Posteriormente se calcula el área por sector.

$$\text{Área por sector} = \frac{\text{Área bruta}}{\text{Total de sectores}}$$

$$\text{Área por sector} = \frac{11.8 \text{ ha}}{6 \text{ sectores}} = 1.97 \text{ ha/sector}$$

La distribución en el área de se ejemplifica en el esquema abajo presentado

Sector 1 (1.97 ha) día 1	Sector 2 (1.97 ha) día 1

Sector 3 (1.97 ha) día 2	Sector 4 (1.97 ha) día 2
Sector 5 (1.97 ha) día 3	Sector 6 (1.97 ha) día 3

Prosiguiendo se calcularán las **Horas efectivas** de riego al día.

$$\frac{\text{Horas efectivas}}{\text{día}} = \# \frac{\text{Turnos}}{\text{día}} \times \text{Tiempo de riego (horas)}$$

$$\frac{\text{Horas efectivas}}{\text{día}} = 2 \times 7.15 \text{ horas} = 14.3 \text{ horas}$$

Como siguiente paso, se determinará el **caudal de bombeo** utilizando la fórmula:

$$\text{Caudal de bombeo} = \frac{\text{Demanda hídrica bruta} \times 10 \times \text{Área bruta}}{\text{Horas efectivas/día}} = \text{m}^3/\text{hora}$$

$$\text{Caudal de bombeo} = \frac{5.56 \text{ mm/día} \times 10 \times 11.8}{14.3 \text{ horas}} = 45.88 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Por último, se hará la determinación del **caudal por hectárea**, el cual sirve para determinar posteriormente cálculo en el diseño de la finca, diámetro de tuberías.

$$\frac{\text{Caudal}}{\text{ha}} = \frac{\text{Caudal de bombeo} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hora}} \right)}{\text{Área por sector (ha)}}$$

$$\frac{\text{Caudal}}{\text{ha}} = \frac{45.88 \text{ m}^3/\text{hora}}{1.97 \text{ ha}} = 23.29 \text{ m}^3/\text{horaxha}$$

Ejercicio

Haciendo uso del programa Excel en su computadora, realizar los cálculos para un diseño de riego por goteo, con los datos presentes en la tabla que se encuentra a continuación. Con la ayuda del profesor descargue la plantilla de Excel que se encuentra en el enlace y aplique las fórmulas que han desarrollado en la presente práctica.

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1nU6isWeKjsnclGE9kSAwfM6nQ_Hdd7pO/edit?usp=sharing&ouid=111144313284368970295&rtpof=true&sd=true

Para el ejercicio obtener: *PAR, precipitación, demanda hídrica bruta, lamina de llenado del suelo, lámina de reposición, frecuencia de riego, tiempo de riego, turnos por día, total de sectores, horas efectivas, caudal de bombeo y caudal por hectárea.*

Ejercicio	
Área bruta	15 ha
requerimiento hídrico	3 mm/día
horas disponibles	15 horas
Textura	Franco
Profundidad efectiva de raíz	300 mm
Flujo	1 lph
Esp. laterales	1 m
Esp. Goteros	0.20 m
Presión	1 bar

HOJA DE TRABAJO No. 2

1. Mencione la importancia de conocer la humedad del suelo para los sistemas de riego
2. ¿Cuáles son los tipos de agua que se encuentran en la solución del suelo?
3. ¿Qué es Capacidad de Campo?
4. ¿Defina que significa Punto de Marchitez permanente?
5. ¿A qué se refiere el concepto de Saturación en el suelo?
6. ¿Cuál es la diferencia entre humedad gravimétrica y humedad volumétrica?
7. ¿Cuál es el uso que se le da a la humedad volumétrica en el cálculo de riegos?
8. ¿Qué importancia tiene conocer la humedad del suelo en el diseño de drenajes?
9. Para determinar la humedad gravimétrica, ¿cuál de los métodos usados en la práctica considera que es más confiable? y ¿Por qué?
10. Determinar la humedad gravimétrica de una muestra de suelo, con masa inicial de 50 gramos y masa final de 46.7 gramos.
11. Obtener la humedad volumétrica de un suelo que presenta una humedad gravimétrica de 65% y densidad aparente de 1.27 g/cm^3
12. Calcular la humedad gravimétrica de un suelo que presenta una humedad volumétrica de 80% y densidad aparente de 1.15 g/cm^3
13. ¿Cuál es la importancia de aplicar riego en los cultivos?
14. Enumere los métodos de riego que existen y de su opinión sobre cuál es el mejor y ¿Por qué?
15. ¿Qué es eficiencia de riego?
16. ¿Cómo se determina la eficiencia de riego?

17. ¿Cuál es la importancia de conocer la textura y densidad aparente del suelo en el diseño de sistemas de riego?
18. ¿Qué es evapotranspiración?
19. ¿Qué textura de suelo retiene mayor humedad?
20. Si se desea establecer un cultivo de caña de azúcar, ¿Qué tipo de sistema de riego considera el más adecuado a implementar?
21. Para una plantación de chile dulce, ¿Qué método de riego sería el más idóneo?
¿Por qué?
22. Elabore un diseño de riego por goteo, con los datos que se proporcionan

Cultivo de Sandía	
Área bruta	20 ha
requerimiento hídrico	7 mm/día
horas disponibles	16 horas
Textura	Arcilloso
Profundidad efectiva de raíz	250 mm
Flujo	1.1 lph
Espacio. laterales	1.2 m
Espacio. Gotos	0.20 m
Presión	1 bar

PRÁCTICA 3:

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

1. Propósito de la práctica:

- 1.1 Conocer los términos utilizados en el cálculo para el dimensionamiento de drenajes subsuperficiales.
- 1.2 Determinar la conductividad hidráulica del suelo utilizando pruebas de laboratorio.
- 1.3 Calcular la distancia apropiada entre drenes.

2. Marco Teórico: Conductividad hidráulica

Expresa la facilidad con que el suelo permite el flujo de un fluido en particular, según el gradiente. Se determina tanto por el tipo de suelo como por el fluido que transmite.

La conductividad hidráulica del suelo es una de las características básicas del suelo que deberá ser determinada en todo estudio de drenajes agrícolas subsuperficiales, para saber sobre la mayor o menor facilidad con que se puede mover el agua en un suelo determinado. La mayoría de las ecuaciones utilizadas para determinar el espaciamiento de los drenes utilizan el dato de la conductividad hidráulica. (Sandoval Illescas, 1989)

El diseño y funcionamiento de un sistema de drenes subsuperficiales depende en gran medida de la conductividad hidráulica o conductividad saturada del suelo (K). Todas las ecuaciones para determinar espaciamiento entre drenes consideran este parámetro. Consecuentemente, para diseñar o evaluar un sistema de drenaje es necesario determinar el valor de la conductividad tan preciso como sea posible. Como ya se ha dicho, la conductividad hidráulica de un suelo varía tanto espacial como temporalmente. Esto significa que para realizar un adecuado diseño de un sistema de drenaje es necesario encontrar un valor representativo del suelo. Para encontrar dicho valor la persona que realice las determinaciones deberá tener conocimiento acerca de las relaciones teóricas entre el sistema de drenaje que enfrenta y las condiciones de drenaje imperantes en el área en estudio. Esto significa que el investigador deberá tener un conocimiento previo acerca de la efectividad del drenaje y otras relaciones tales como:

- a) la profundidad a que se ubicarán los drenes y la conductividad hidráulica a esa profundidad;
- b) la profundidad de la región de flujo y el tipo de acuífero;
- c) la variación de la conductividad hidráulica con la profundidad y
- d) la anisotropía del suelo.

En otras palabras, previo a la determinación de la conductividad hidráulica será necesario tener un acabado conocimiento del suelo.

La anisotropía del suelo se refiere a la propiedad de que las características físicas de un suelo varían según la dirección en la que se miden o analizan. A diferencia de un material isotrópico que es homogéneo en todas las direcciones, un suelo anisotrópico presentará diferencias en su resistencia, rigidez, permeabilidad u otras propiedades en función de la orientación. Esta característica tiene implicaciones significativas en la estabilidad de estructuras como cimientos, taludes y muros de contención.

La conductividad hidráulica varía espacialmente debido a:

- a) la interacción del fluido con el medio poroso (por las características mineralógicas de las partículas y el agua que percola a través del suelo);
- b) el bloqueo de los poros (debido al aire atrapado y la destrucción de los agregados);
- c) los microorganismos (su multiplicación y la consiguiente descomposición de la materia orgánica puede obstruir los poros);
- d) las grietas y cavidades (resultante de la actividad de las lombrices y descomposición de las raíces) y
- e) la heterogeneidad del medio poroso (variaciones en las características físicas de distintos estratos conduce a diferencias entre la conductividad hidráulica horizontal y vertical).

Desde el punto de vista de su variación en el tiempo ésta se debe a que los factores que actúan son dinámicos lo cual, sumado a la intervención humana, somete al suelo a continuos cambios que de una u otra forma afectan la conductividad.

La siguiente figura muestra la variación de la conductividad hidráulica debido a una saturación prolongada. Dicha variación depende de varios procesos simultáneos, aunque la diferencia en las tres fases en que se ha dividido la curva, se explica por la predominancia de cada factor. De acuerdo a la figura, la disminución de la conductividad durante la fase 1 se debe al efecto de la mojadura de las partículas y lixiviación de los electrolitos. En la fase 2 se produce un aumento relativamente brusco de la conductividad debido a la disolución del aire atrapado y eliminación del mismo con el agua. Finalmente, en la fase 3, se produce una disminución gradual de la conductividad debido a la actividad microbiana y posterior sellado de los poros. De acuerdo con lo anterior, suelos que han estado regados por un considerable período de tiempo se encuentran en la situación descrita en la fase 3, con un prolongado efecto de la acción microbiana, lo que probablemente producirá una disminución de la conductividad con el tiempo, que de no corregirse mediante un sistema de drenaje seguirá disminuyendo aún más, con el consiguiente deterioro de la estructura del suelo.

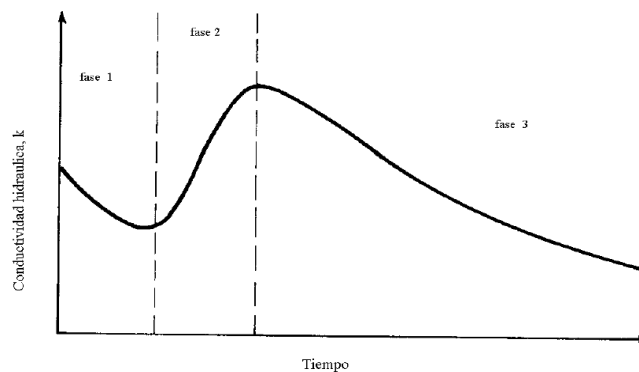


Figura. 14 Gráfica conductividad hidráulica/tiempo

Dos características del suelo que inciden poderosamente sobre la conductividad hidráulica son la textura y la estructura. En la tabla siguiente se ilustra claramente este efecto.

VALORES DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SEGÚN TEXTURA. (GRASSI, 1981).

<i>Textura</i>	<i>K m/día</i>
<i>Arena gruesa con grava</i>	<i>10-50</i>
<i>Franco arenosa fina; arena fina</i>	<i>1-5</i>
<i>Franco; franco arcillosa bien estructurada</i>	<i>1-3</i>
<i>Franco arenosa muy fina</i>	<i>0.5-2</i>
<i>Arcilla con grietas</i>	<i>0.5-2</i>
<i>Arena muy fina</i>	<i>0.2-0.5</i>
<i>Franco arcillosa, arcillosa mal estructurada</i>	<i>0.002-0.2</i>
<i>Arcilla compactada</i>	<i><0.002</i>

Como puede apreciarse, las variaciones de la conductividad hidráulica dentro de una misma clase textural son considerablemente altas y además están afectadas por la estructura predominante. Esto ilustra con claridad la necesidad de obtener un valor representativo de la conductividad para hacer un diseño de drenaje adecuado. En general, es posible sostener que la conductividad de un suelo arenoso es función de su textura (granulometría), en cambio, la conductividad de un suelo arcilloso depende fundamentalmente de su estructura (ordenamiento espacial de las partículas).

Determinación de la conductividad hidráulica.

Existe una serie de técnicas destinadas a la obtención de un valor puntual de la conductividad hidráulica. Como una forma de clasificación, estos métodos pueden ordenarse de la siguiente forma:

a) Métodos de laboratorio.

- Permeámetro de altura constante
- Permeámetro de altura variable

b) Métodos de terreno.

b.1. Con nivel freático presente

- Método del pozo
- Método del piezómetro
- Método del doble pozo
- Método de la prueba de bombeo
- Método de drenes paralelos

b.2. Sin nivel freático presente

- Método del pozo invertido
- Método del cilindro de infiltración
- Método del doble tubo

c) Métodos de correlaciones.

- A partir de la curva de retención de humedad del suelo
- A partir de la curva de distribución del tamaño de partículas
- A partir de la clase textural

Tanto los métodos de laboratorio como los de terreno están basados en imponer ciertas condiciones al flujo de agua en una muestra de suelo o en el suelo mismo, y la aplicación de una fórmula basada en la ley de Darcy sujeta a ciertas condiciones de borde.

Los métodos de laboratorio se aplican sobre muestras de suelo obtenidas mediante cilindros. Aunque estos métodos son relativamente laboriosos aún se usan en atención a su rapidez y bajo costo y porque ayudan a eliminar problemas de incertidumbre que relacionan las propiedades del suelo con la conductividad. Además, tienen la ventaja que es posible obtener la conductividad horizontal y vertical del suelo de cada estrato identificada en el estudio agrológico. Sin embargo, estos métodos son poco recomendables ya que, debido al tamaño de la muestra, es posible esperar gran variabilidad y escasa representatividad. Además, y puesto que la muestra proviene de un lugar puntual, está afecta a errores de procedimiento durante su extracción y posterior manipulación en el laboratorio.

En contraste con los métodos anteriores, en los métodos de terreno el valor de la conductividad hidráulica se obtiene construyendo un hoyo en el suelo y midiendo en su interior la disminución del nivel del agua (métodos sin nivel freático presente) o el ascenso del nivel del agua (métodos con nivel freático presente).

En cuanto a los métodos de correlación, éstos están basados en relaciones predeterminadas entre una propiedad específica del suelo (ej. textura, curva de retención de humedad o distribución del tamaño de partículas) y la conductividad. Su aplicación es fácil y rápida y no requiere de un trabajo de terreno o laboratorio. Un valor obtenido en esta forma puede no ser representativo del suelo que se desea drenar debido a las restricciones de cada método, por lo tanto, no son recomendables con fines de diseño.

Permeámetro de altura constante.

Un permeámetro de altura constante es un instrumento muy simple compuesto por un cilindro que contiene la muestra de suelo (preferentemente no disturbada) y sobre éste otro cilindro del mismo diámetro sobre el cual se mantiene una altura de agua constante. En la base del cilindro que contiene la muestra se coloca una gasa o malla muy fina de alambre

o plástico para impedir que el suelo colapse. Todo el aparato así armado se instala sobre un embudo, el cual permite que el agua que pase a través de la muestra sea recolectada y medida en una probeta. Una vez saturada la muestra y estabilizado el nivel de agua sobre la misma, se colecta el volumen de agua que percola, expresándose en unidades de caudal.

$$k = \frac{Q * L}{A * H}$$

K = conductividad hidráulica (cm/s)

Q = caudal (cm³/s)

L = largo de la muestra de suelo (cm)

A = área del cilindro (cm²)

$H = L + h$ = carga de agua (cm)

h = altura de agua sobre la muestra (cm)

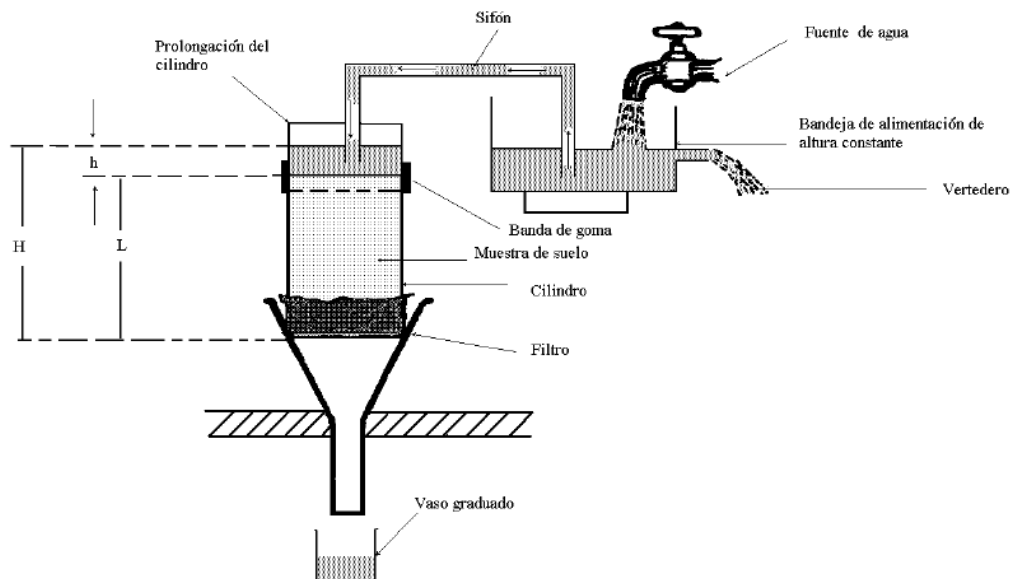


Figura. 15 Permeámetro de altura constante

Con el propósito de obtener una muestra de suelo en su condición más natural posible (muestra no disturbada), es conveniente que ésta se obtenga con el mismo cilindro con que posteriormente será procesada en laboratorio. Es conveniente, por lo tanto, que el cilindro en cuestión sea de un diámetro no superior a 7.5 cm, un largo no superior a 10 cm y provisto de un bisel (fil) en el borde inferior. Dicho cilindro se inserta en el suelo (vertical u

horizontalmente) a la profundidad deseada mediante presión o golpes suaves cuidando no destruir la estructura natural del suelo.

Una vez obtenida la muestra ésta se limpia con un cuchillo para ajustarla al nivel superior e inferior del cilindro, cuidando no sellar los poros del suelo. Para evitar la deshidratación de la muestra y facilitar su traslado hacia el laboratorio, es conveniente sellar ambos extremos con un plástico.

El cálculo de la conductividad es independiente del largo y del área de la muestra y consecuentemente del cilindro que la contiene. Esto es importante, por cuanto ello significa que tanto los cilindros que contienen el suelo como aquéllos que contiene el agua pueden fabricarse fácilmente a partir de cañerías de fierro o cobre, sin importar sus dimensiones. (Salgado S., 2010)

Permeámetro de altura variable.

Un permeámetro de altura variable es un instrumento tan simple como el de altura constante. Como su nombre lo indica, en este caso el procedimiento consiste en hacer variar una columna de agua desde un nivel inicial (H_i) a uno final (H_f). Para lograr tal propósito, el tubo que se ubica sobre el que contiene la muestra se recomienda sea lo suficientemente largo (15-20 cm) de modo de hacer las lecturas con relativa facilidad.

Para el correcto funcionamiento de este instrumento se requiere tomar las mismas precauciones indicadas anteriormente en cuanto a la toma de la muestra, montaje y operación del instrumento.

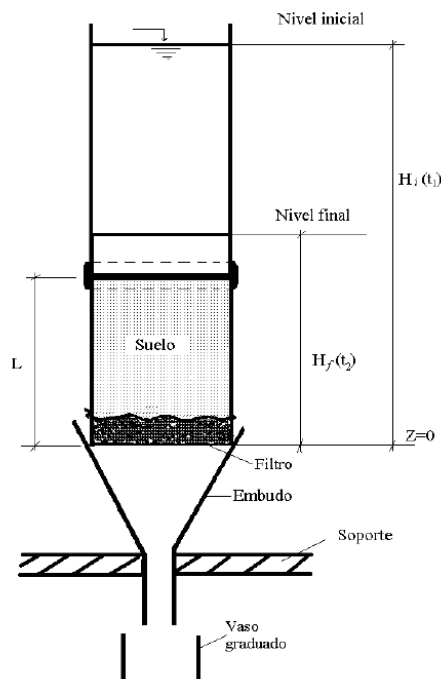


Figura. 16 Permeámetro de altura variable

Bajo las condiciones de flujo indicados en la figura, es posible demostrar que la conductividad hidráulica queda determinada por la siguiente expresión:

$$k = 2.3 \left[\frac{L}{\Delta t} \right] * \text{Log.} \left[\frac{H_i}{H_f} \right]$$

donde:

K = conductividad hidráulica (cm/s)

L = largo de la muestra (cm)

Δt = intervalo de tiempo desde H_i a H_f (s)

H_i = altura inicial del agua (cm)

H_f = altura final del agua (cm)

Método del pozo invertido

Como se señaló anteriormente, este método, conocido en la literatura francesa con el nombre de método Porchet, ha sido diseñado para obtener la conductividad hidráulica de un suelo donde no existe un nivel freático presente. Su principio está basado en la infiltración de agua en el suelo. Al usar un cilindro para infiltrar continuamente agua a un suelo no saturado, se encontrará que luego de un cierto tiempo el suelo alrededor y debajo del cilindro alcanza saturación y que el frente húmedo, es una línea relativamente nítida entre el suelo húmedo y el suelo seco (Figura 9.).

Consideremos un punto justo encima del frente húmedo a una distancia Z bajo la superficie del suelo. El potencial matricial (h_m) en dicho punto es bajo. La carga hidráulica en la superficie del suelo será $Z + h$ (h = altura del agua en el cilindro). La diferencia de carga entre el punto Z y la superficie del suelo será, por lo tanto:

$$K = 1.15r * \frac{\text{Log} \left(h_o + \frac{r}{2} \right) - \text{Log} \left(h_t + \frac{r}{2} \right)}{t_t - t_o}$$

K = conductividad hidráulica (cm/ seg)

h_o = altura de agua en el pozo al tiempo t_o (cm)

h_t = altura de agua en el pozo al tiempo t_t (cm)

r = radio del pozo (cm)

Aplicación de la conductividad hidráulica

Espaciamiento entre Drenes

El objetivo fundamental de determinar y definir parámetros y criterios de diseño es para disponer de elementos de juicio necesarios para proceder el cálculo del espaciamiento o distancia que debe existir entre dos laterales bajo una cierta condición de suelo, clima y cultivo. Dicha distancia se calcula mediante ecuaciones que son expresiones matemáticas deducidas por simplificación de la teoría de flujo del agua subterránea, bajo ciertas condiciones límites preestablecidas. Tales ecuaciones se agrupan en dos grandes categorías: Ecuaciones para régimen permanente y ecuaciones para régimen impermanentes.

Una condición de régimen permanente o estacionario es aquella en la cual la cantidad de agua que entra al sistema es igual a la que sale. En este caso el sistema consiste en una serie de drenes paralelos, donde la cantidad de agua que entra está dada por la recarga (R), que puede ser precipitación, riego o filtraciones, y la cantidad de agua que sale a través de los drenes, descarga (Q). Bajo tales condiciones el balance de aguas de la zona saturada se encuentra en equilibrio y la posición capa freática no cambia, siendo la carga hidráulica (Δh) función exclusivamente de la distancia desde el nivel freático en punto medio entre dos drenes y el nivel de agua dentro de éstos. (Luis, 2010)

Para el cálculo del espaciamiento bajo condiciones del régimen permanente es necesario conocer o definir: La conductividad hidráulica o de los estratos que componen la región de flujo (K) el espesor de la región de flujo (sobre y bajo los drenes): la profundidad a la napa en el punto medio entre laterales (P_e); la profundidad de los drenes (P_d); la carga hidráulica (Δh); la profundidad desde la base de los drenes al estrato impermeable (D) y la recarga (R). Todas estas variables están debidamente individualizadas en la siguiente figura.

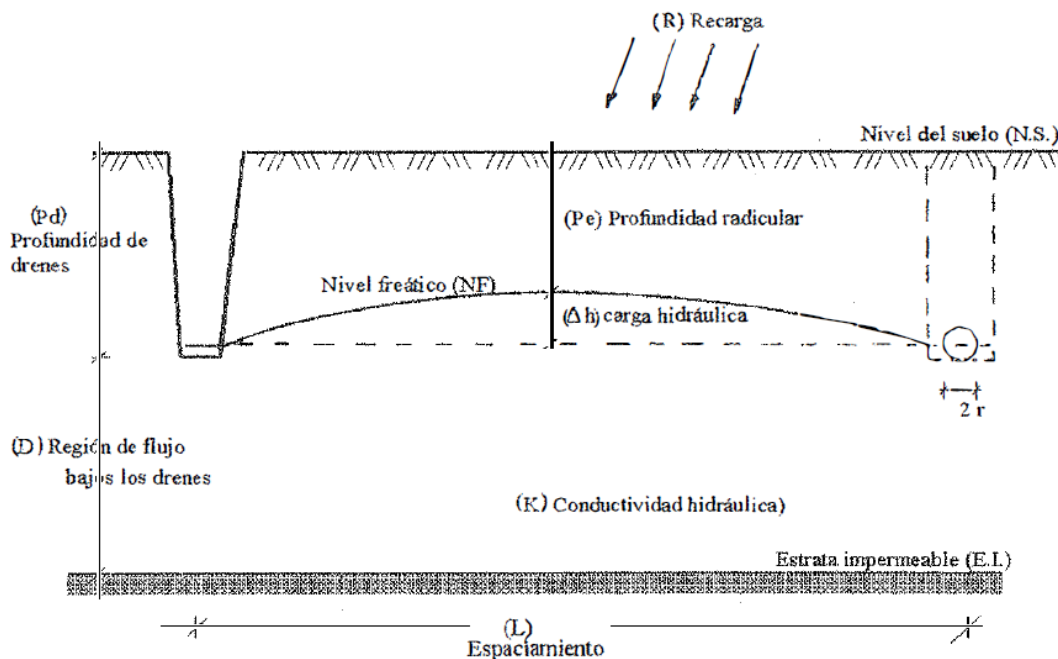


Figura. 17 Ilustración diseño de drenes

Bajo tales condiciones es posible aplicar la siguiente ecuación.

$$L^2 = \frac{4k(H^2 + D^2)}{R}$$

Donde:

L = Espaciamiento (m)

K = conductividad hidráulica (m/día)

D = distancia del nivel de agua en la zanja al estrato impermeable (m)

H = D+Δh

Δh = carga hidráulica (m)

R = recarga (m/día)

Ejemplo 1:

Determinar la conductividad hidráulica de un suelo, utilizando el método del permeámetro de altura constante en donde se utilizó una muestra de suelo, obteniéndose los siguientes datos:

Largo de la muestra de suelo 12 cm.

Altura del agua sobre la muestra: 88 cm.

Diámetro interno del cilindro: 3.81 cm

Largo del cilindro 12 cm

Volumen de agua recolectado en la probeta 11.2 cm³

Tiempo utilizado para la prueba 20 segundos.

$$k = \frac{Q * L}{A * H}$$

Cálculo de Datos.

$Q = V/T = 11.2 \text{ cm}^3/20\text{seg} = \mathbf{0.56 \text{ cm}^3/\text{s}}$

$A = \pi * r^2 = \pi * 1.905^2 = \mathbf{11.40 \text{ cm}^2}$

$H = L+h = 12\text{cm}+88 \text{ cm} = \mathbf{100\text{cm}}$

$$k = \frac{0.56 \frac{cm^3}{seg} * 12 cm}{11.40 cm^2 * 100 cm} = 0.005895 \text{ cm/seg} = 5.09 \text{ m/día}$$

Ejemplo 2:

Asumamos que un suelo homogéneo, sometido a una recarga de 15 mm/día (0.015 m/día), tiene una profundidad de 2.0m y una conductividad hidráulica determinada en el ejemplo anterior. Se requiere una profundidad radicular efectiva (pe) de 1.2 m. Se pretende construir zanjas que lleguen hasta el estrato impermeable. La carga hidráulica será de 0.3 m.- ¿Determinar la distancia entre drenes?

Datos:

R = 0.015 m/ día

Pd = 2 m

K = 5.09 m/ día

Carga hidráulica (Δh) = 0.3 m

Profundidad Radicular (Pd) = 1.2 m

Deducimos:

D (Distancia del nivel del agua en la zanja al estrato impermeable) = 2m – (1.2m + 0.3m) = **0.5m**

H = D + Δh = 0.5m + 0.3 = **0.8m**

Aplicando la ecuación:

$$L = \sqrt{\left(\frac{4k(H^2 + D^2)}{R} \right)}$$

$$L = \sqrt{\left(\frac{4 * 5.09 (0.8^2 + 0.5^2)}{0.015} \right)} = 23.00 \text{ m}$$

PRÁCTICA:

Recolectar 2 muestras de suelo una a 10 cm de profundidad y otra a 40 cm de profundidad y determinar su conductividad hidráulica, utilizando el método del permeámetro de altura constante.

Para armar el permeámetro de altura constante utilizaremos los siguientes materiales: (utilizando la imagen anterior del permeámetro de altura constante)

- 1 tubo HG de 2 pulgadas de diámetro y 10 cm de largo
- 1 tubo PVC de 2 pulgadas de diámetro y 15 cm de largo

- 1 tubo PVC de ½ pulgada de 20 cm de largo
- 1 adaptador hembra de 2 pulgadas (liso en los dos extremos)
- 2 tapones PVC de 2 pulgadas
- 1 reductor PVC de 2 Pulgadas a ½ pulgada
- 1 llave de paso de ½ pulgada
- 1 adaptador macho rosca de ½ pulgada
- 1 adaptador hembra rosca de ½ pulgada
- 25 centímetros cuadrados de cedazo o tela de velo
- Hule
- 50 cm de manguera transparente de ½ pulgada
- Recipiente con capacidad para 5 litros
- Pala
- Azadón
- Probeta graduada
- Cinta métrica o flexómetro
- Cronometro

PROCEDIMIENTO:

Recolección de la muestra

Con el trozo de tubo galvanizado de 10 cm. De largo limpia el área de la muestra y posteriormente con la ayuda de un mazo introduce el tubo en el perfil del suelo, posteriormente con la ayuda de un machete elimina los excedentes de suelo, para posteriormente tapar los extremos del tubo que contiene la muestra de suelo con los dos tapones de PVC, para evitar alteraciones en la muestra de suelo.

Preparación de la muestra

Quitar el tapón de un extremo del tubo y colocar el cedazo y colocar el adaptador de PVC de 2 a ½ pulgadas, la cual ya debe estar armada con el tubo y la llave de paso de ½ pulgada, asegurarse que la llave se encuentre cerrada.

En la parte superior del tubo Hg que contiene la muestra quitamos el tapón y colocamos el adaptador de 2 pulgadas la cual estará conectada al tubo PVC de 2 pulgadas.

Al recipiente de 5 litros le realizamos un agujero de manera que se pueda conectar un adaptador hembra a 4 cm del borde de recipiente, con el objeto de que se pueda drenar el exceso de agua y mantener una carga estable de agua

Otra opción será realizar el agujero directamente al tubo PVC de 2 pulgadas para que drene directamente.

(las dos opciones se pueden observar en las imágenes siguientes)

El aparato ya armado lo sujetamos al soporte de buretas un hule, teniendo el cuidado que esté bien sujeta para evitar que el aparato pueda caer.

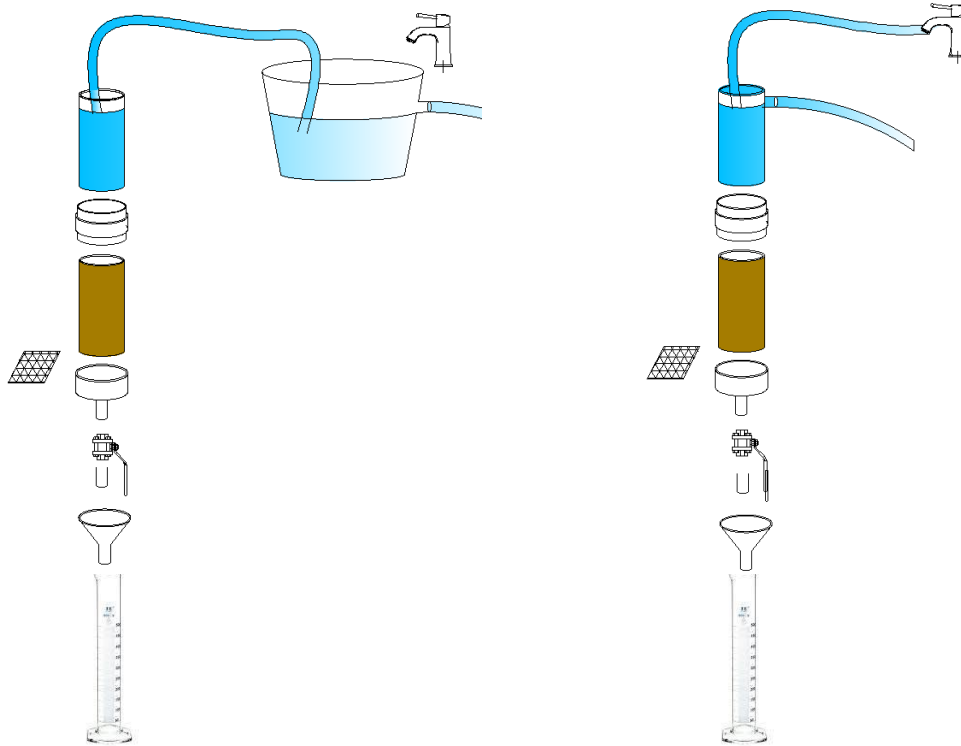


Figura. 18 Procedimiento a realizar

Toma de datos:

Aplicamos agua a la cubeta o directamente al tubo de PVC de 2 pulgadas, para saturar la muestra y lograr una carga de agua sobre la misma. Al estar saturada la muestra de agua y estabilizada la carga de agua, procedemos a colocar la probeta con un embudo en la parte baja del aparato para recolectar el agua drenada dentro de la muestra de suelo en un tiempo aproximado de 20 a 30 segundos.

Datos que deben tomarse:

- Tiempo (segundos)
- Volumen de agua (mL o cm^3)
- Largo de la muestra (centímetros)
- Altura del agua sobre la muestra (centímetros)
- Diámetro de tubo (centímetros)
- Con los datos recolectados procedemos a calcular la conductividad hidráulica (K)

Hoja de trabajo No. 3

- 1) En una muestra de suelo, utilizando el método del permeámetro de altura constante, se tienen los siguientes datos:
Largo de la muestra 10 cm
Altura del agua sobre la muestra = 40 cm
diámetro interno del cilindro= 3 pulgadas
Volumen de agua recolectado en la probeta= 22.5 mL
Tiempo utilizado para la prueba= 19 segundos

- 2) En una muestra de suelo utilizando el método del permeámetro de altura variable se tienen los siguientes datos, determinar la conductividad hidráulica.

Largo de la muestra: 10 cm
Diámetro cilindro de la muestra: 7.62 cm
Intervalo de tiempo utilizado: 17 segundos
Carga hidráulica inicial: 100 cm
Carga hidráulica final: 15 cm
Diámetro de tubo alimentador: 2.54 cm

- 3) Determinar las distancias entre drenes de un suelo homogéneo, en un área que en época lluviosa el pluviómetro tiene la lectura más alta de 18mm/día, tiene una profundidad de 2.5 m. y una conductividad hidráulica de 0.01077cm/seg. Se requiere una profundidad radicular efectiva de 1.00 m. Se pretende construir zanjas que lleguen hasta el estrato impermeable. La carga hidráulica es de 0.25 m.

PRÁCTICA No. 4

DISEÑO DE DRENAJES

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 en área de cultivo.

2. Marco Teórico.

Las tuberías son las encargadas de transportar el agua que proviene derivadas de aguas de lluvia y hay necesidad de desecharlas, para evitar que el suelo cultivado se sature causando estrés en las plantas y/o proliferación de hongos y bacterias a nivel radicular.

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

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

En la 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”*

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 (°).

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

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.

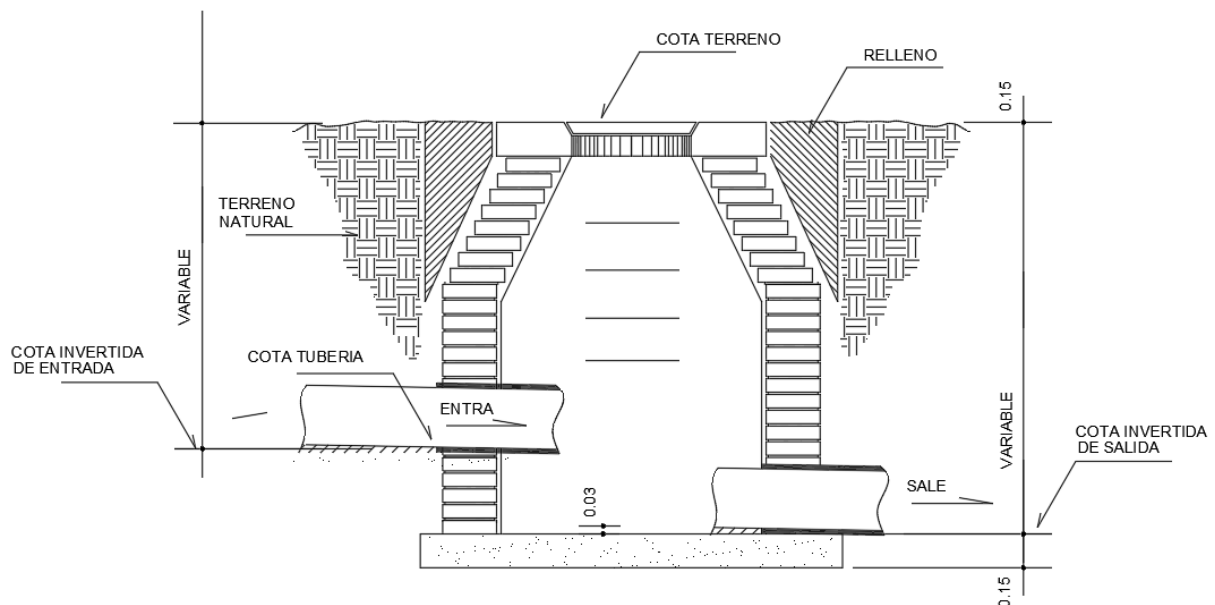


Figura 19: Pozo de visita y cotas invertidas.

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:

$$\frac{V_{diseño}}{V_{slt}}$$

Relación de diámetros:

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

d: La altura real del agua dentro del tubo (tirante).

D: El diámetro total del tubo.

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 20: 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)

Métodos de drenajes

Una vez identificado el problema de drenaje mediante los estudios básicos de reconocimiento y diagnóstico se selecciona el método o sistema de drenaje que puede ser superficial o subterráneo (interno).

Un sistema de drenaje consta de drenes laterales, colectores y principales.

Los laterales, denominados también drenes parcelarios, mantienen el nivel freático a la profundidad deseada y recogen el agua de escorrentía para conducirla hasta los colectores que, a su vez la conducen hasta los drenes principales que la evacúan fuera del área

Drenaje superficial

El drenaje superficial consiste en la remoción del agua acumulada sobre la superficie del terreno a causa de lluvias intensas y frecuentes, desbordamiento de cauces, topografía plana irregular y suelos con baja capacidad de infiltración.

Dependiendo del origen de los excesos de agua para su control se puede escoger una o varias de las formas de drenaje superficial siguientes:

- Para controlar inundaciones
- Para controlar las aguas de escorrentía
- Red de drenaje superficial local

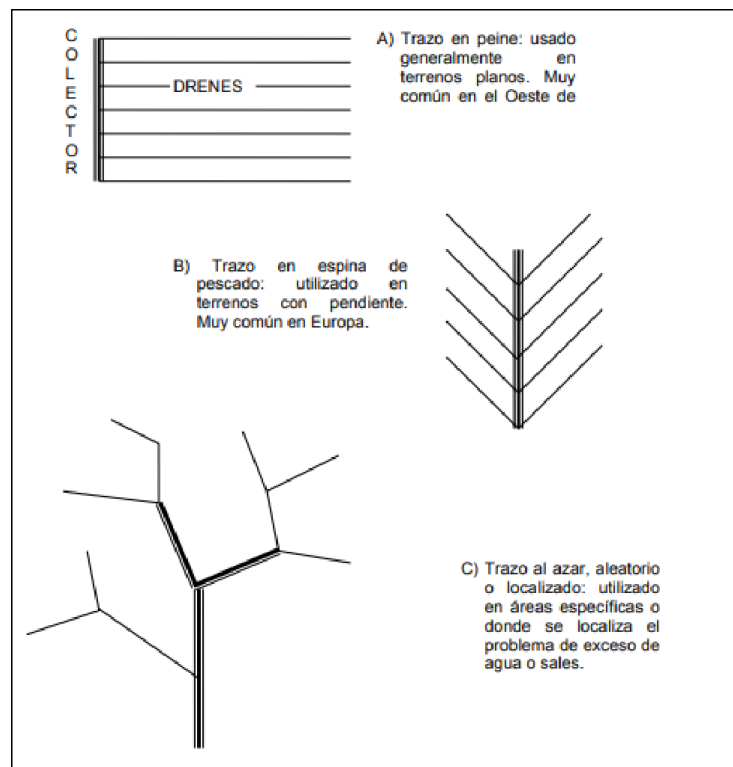
Drenaje subterráneo

En algunos cultivos el drenaje subterráneo es necesario cuando las áreas presentan niveles freáticos permanentes a profundidades menores de 1 m, durante la etapa de rápido crecimiento.

Drenajes abiertos

Son canales abiertos y profundos con alta capacidad que se pueden utilizar para conducir aguas subterráneas o de escorrentía. Requieren una pendiente entre 0.015% y 0.4 %, o sea menor que la de los drenes enterrados que tienen entre 0.1 y 1 %.

Figura No.21 tipo de drenajes superficiales



Drenes entubados

El drenaje subterráneo se compone de varias líneas de tubería, que se instalan a una profundidad entre 1.5 y 2 metros con el fin de abatir el nivel freático y mantenerlo a una profundidad entre 1 y 1.2 metros de la superficie del suelo.

Ejemplo:

Determinar la profundidad de zanja en el punto B, si en el punto A, tendrá una profundidad de 0.50 m y el desnivel a utilizar es de 5%

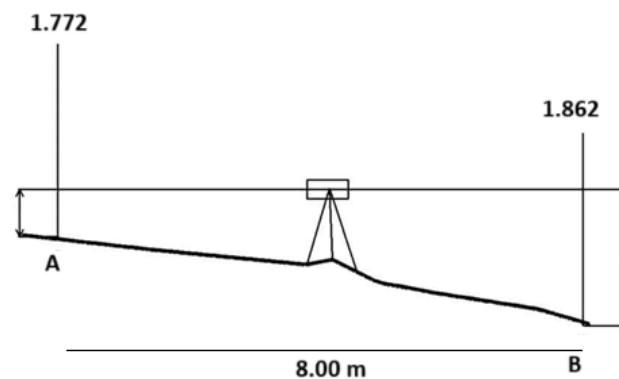


Figura. 22 ejemplo propuesto

$$\% Pe = \frac{DV}{DH} * 100$$

% Pe = Porcentaje de pendiente

DV = Distancia Vertical

DH = Distancia Horizontal

1. Determinar la pendiente natural.

$$\% Pe = \frac{1.772 - 1.862}{8} * 100 = -1.125\%$$

2. Calcular la diferencia de pendiente natural y pendiente de diseño

$$5\% - 1.125\% = 3.875\%$$

3. Calcular la profundidad en el punto B

$$DV = \frac{\%Pe * DH}{100}$$

$$DV = \frac{3.875 * 8}{100} = 0.31m$$

Profundidad en el punto B = 0.5 m + 0.31 = 0.81cm

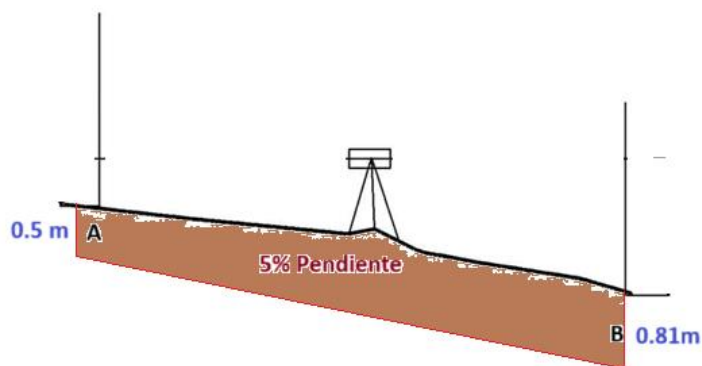


Figura. 23 ejemplo propuesto

Parte práctica

Materiales

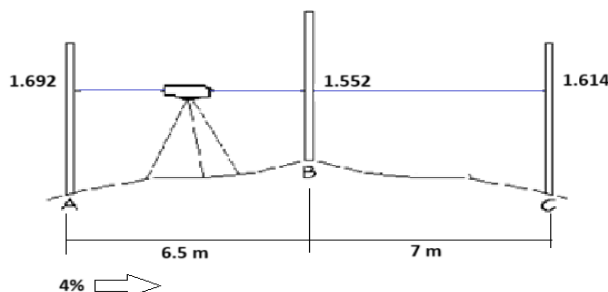
- Pala
- Machete
- Metro
- 3 metros de tubo de PVC con agujeros de 5 mm de diámetro a cada 20 centímetros a lo largo del tubo
- 2 cubetas llenas de piedrín (Cubetas de 19 litros)
- Nivel topográfico

Procedimiento

- Realizar un drenaje entubado, excavando una zanja de 30 cm de ancho, 30 cm de profundidad en el punto A y calcular la profundidad en el punto B, de acuerdo a la pendiente a utilizar. y 3 metros de largo hacia un vertedero, con pendientes de 3%, 6%, 9% y 12% según el número de grupos
- Determinar la distancia vertical entre punto A y B, utilizando las lecturas de hilo medio del nivel topográfico.
- Realizar la zanja correspondiente según las especificaciones de diseño
- Colocar una cama de 10 cm de altura de piedrín
- Colocar el tubo sobre la cama
- Cubrir el tubo con piedrín 10 cm sobre el tubo
- Completar con tierra a nivel original de suelo

Hoja de trabajo No. 4

- a) De acuerdo con la figura siguiente determinar la profundidad de apertura de una zanja, en los puntos B y C, para enterrar una tubería para drenaje con un 4% de pendiente, si el punto inicial es el punto A y tendrá una profundidad de 35 cm.



- b) Se requiere diseñar un tramo de tubería subterránea entre dos pozos de visita, el **Punto A** y el **Punto B**, separados por una **distancia horizontal de 12.00 metros**. Al realizar el levantamiento topográfico con el nivel de ingeniero, se obtuvieron las siguientes lecturas sobre el terreno natural:

Lectura en el punto **A**: 1.650 m

Lectura en el punto **B**: 1.830 m

El ingeniero del proyecto ha dictaminado que la tubería debe colocarse con una **pendiente de diseño del 4%**. La excavación (zanja) comenzará en el **Punto A**, con una profundidad inicial de **0.60 metros**.

Se solicita calcular:

- La pendiente natural del terreno en porcentaje (%). (*Indique si el terreno sube o baja hacia B*).
- La diferencia (diferencial) entre la pendiente de diseño y la pendiente natural.
- La distancia vertical adicional (DV) que se debe profundizar debido al diseño.
- La profundidad final de la zanja en el Punto B.

- c) Investigar los siguientes términos

- Geomembranas en conservación de suelo
- Drenaje francés
- Acequias
- Drenaje en agronomía
- Drenajes urbanos
- Drenaje urbano sostenible

- d) **¿Cuál es el objetivo principal** de instalar un sistema de tuberías de drenaje en un área de cultivo? Explique qué se busca evitar a nivel de la planta.

- e) Según la normativa **INFOM 2001**, complete los siguientes requerimientos mínimos de diseño:

Diámetro mínimo para tubos de concreto: _____ pulgadas.

Diámetro mínimo para tubos de PVC: _____ pulgadas.
 Profundidad mínima del coronamiento de la tubería: _____ metros.
 Velocidad mínima del flujo: _____ m/seg.
 Velocidad máxima del flujo: _____ m/seg.

- f) Dibuje las líneas de flujo o describa brevemente la diferencia geométrica entre un **Trazo en peine** y un **Trazo en espina de pescado** para drenajes superficiales.

Instrucciones: Observe la siguiente sección de la tabla de relaciones hidráulicas y responda.

Q/Q _o	Rel.	θ	0.01	0.02	0.03
0.3	V/V _o	0.729	0.732	0.740	0.750
	d/D	0.424	0.431	0.439	0.447

Si tras realizar los cálculos de su caudal de diseño se obtiene una relación de caudales **Q_{diseño}/Q_{sII}=0.3** y se trabaja con una columna residual (Rel) de **0.02**, determine:

La relación de velocidades (V/V_o): _____

La relación de diámetros (d/D): _____

BIBLIOGRAFÍA

- Chow, J. L. (s.f.). *Sección 2 Cálculo de requerimientos de riego*. Obtenido de riego.elesteliano:
https://www.riego.elesteliano.com/ayuda/Fto2_Requerimientos_de_riego.htm
- Consejo de desarrollo urbano y rural. Manual para los equipos de planificación Diseño de obras tipo.
- Ferrovial. (s.f.). *Sistema de Riego*. Obtenido de
<https://www.ferrovial.com/es/recursos/sistema-de-riego/>
- Fertilab. (s.f.). Obtenido de INTERPRETACION DE RESULTADOS DE TEXTURA Y HUMEDAD DEL SUELO:
https://www.fertilab.com.mx/AdminFertilab/Notas_Tecnicas/pdf_nota/Interpretacion_de_Resultados_de_Textura_y_Humedad_del_Suelo.pdf
- Gestiriego. (2016). *DISEÑO AGRONÓMICO*. Obtenido de
<https://www.gestiriego.com/disenio-agronomico/>
- Gil, R. (s.f.). *El agua del suelo*. Obtenido de INTA.
- Guevara, G. (2021). Diseño Riego por Goteo (Cap. 1. Diseño Agronómico). Obtenido de
<https://www.youtube.com/watch?v=CyDGrd4i9vI>
- Hernández, F. (s.f.). *Densidad Aparente Suelo o Sustrato y su Relación con los Programas de Fertilización y Riego*. Obtenido de Asistencia Técnica Agrícola:
https://www.agro-tecnologia-tropical.com/densidad_aparente.html
- ingeniería Civil . (2025). *tutoriales al día*. Obtenido de
<https://ingeniriacivil.tutorialesaldia.com/red-de-distribucion-de-agua-potable-abierta-o-cerrada/>
- Instituto privado de investigación sobre el cambio climático. Manual de medición de caudales. Guatemala, 2017
- Luis, S. S. (2010). *Diseño drenaje Subsuperficial*. Chile: Facultad de ingeniería agrícola. Universidad de Concepción.
- 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.
- Mendoza Aguilar, E. J. (2008). *Diseño y calculo de un sistema de drenaje, para la finca San Nicolas, El zamorano*. Honduras: El Zamorano.
- Salgado S., L. (2010). *Determinación de características hidrodinámicas del Suelo*. Chile: Universidad de Concepción, Facultad de ingeniería Agrícola.

Sandoval Illesca, J. (2002). *Principio de Riegos y Drenajes* . Guatemala: Editorial Universitaria USAC.

Sandoval Illescas, J. E. (1989). *Principio de Riegos y drenajes*. Guatemala: Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Sela, G. (2020). *El agua del suelo*. Obtenido de Cropaia: <https://croipaia.com/es/blog/el-agua-del-suelo/>