

Hay diferentes clases de vertedores según la forma en que se obligue a adoptar a la sección de la vena líquida que circula por la escotadura, de modo que puede ser rectangular, trapezoidal, triangular o circular.

Las formas más utilizadas en la práctica son los **vertedores rectangulares y los triangulares** con el fin de conocer el caudal, para lo cual se miden el ancho (L) de la cresta y la carga (H) del vertedor.

La fórmula para determinar el caudal en un vertedor rectangular con dos(2) contracciones en el sistema métrico es la siguiente:

$$Q = 1.84 (L - 0.2 h) h^{1.5}$$

Ejemplo de la aplicación de la fórmula

En un curso de agua está colocado un vertedor con dos contracciones laterales, con una longitud de cresta de 1.20 m y una carga de 0.40 m. Calcular la descarga.

Los datos son :

$$L = 1.20 \text{ m}$$

$$h = 0.40 \text{ m}, \quad h^{1.5} = 0.40^{1.5} = 0.253$$

$$Q = 1.84 (1.20 - 0.2 * 0.40) * 0.253$$

$$Q = 0.521 \text{ m}^3 / \text{seg.} = 521 \text{ litros / seg.}$$

La fórmula para determinar el caudal en un **vertedor triangular con escotadura de 90°** en el sistema métrico es la siguiente:

$$Q = 1.34 * h^{2.47}$$

h = en metros

Q = en m<sup>3</sup> / seg.

Ejemplo de la aplicación de la fórmula

Calcular el caudal de un vertedor triangular con escotadura de 90° y una carga (h) de 38 centímetros.

Solución:

Aplicando la ecuación

$$Q = 1.34 * h^{2.47}$$

$$Q = 1.34 * 0.38^{2.47}$$

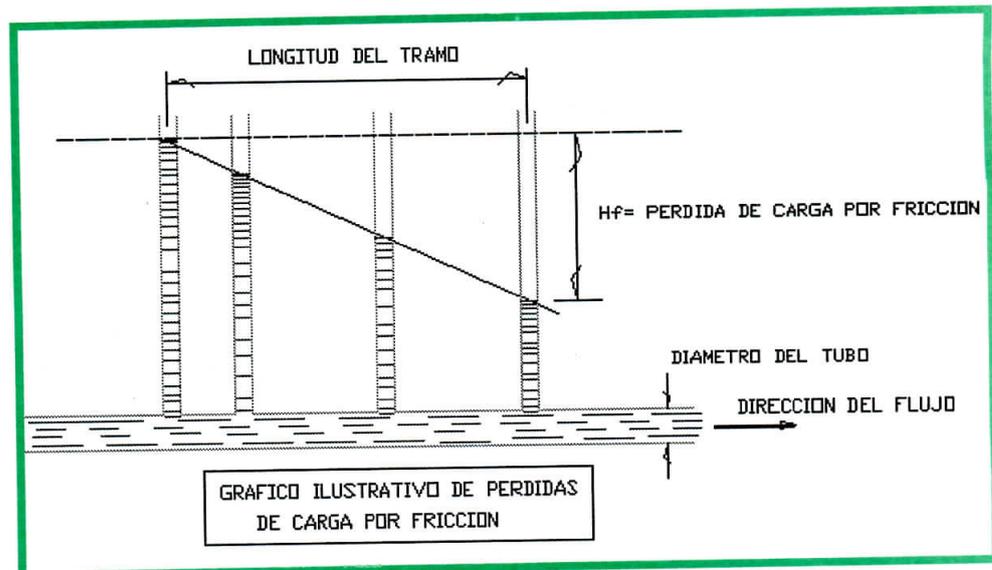
$$Q = 0.123 \text{ m}^3 / \text{seg} = 123 \text{ litros / seg}$$

### 3.5 Circulación del agua en tuberías

La circulación del agua en las tuberías está regida por varias leyes que ya hemos examinado someramente. Ahora empezaremos por dar algunas definiciones importantes para este estudio.

#### Pérdida de carga por fricción

Cuando la tubería es de gran longitud, esta pérdida es la principal y llega a ser tan grande que, a veces, pueden despreciarse las demás por ser muy pequeñas comparadas con ella.



Según vimos al estudiar el teorema de Bernoulli, la pérdida por fricción es un término homogéneo con los otros términos de la ecuación, es decir, está evaluada en metros y la representamos por  $(H)_f$  y depende de:

- El material de que está construido el tubo (hierro, PVC, etc.).
- El estado del tubo (viejo, nuevo).
- La longitud de la tubería.
- El diámetro.
- La velocidad de circulación del líquido.

La fórmula universal para el cálculo hidráulico en tuberías es la HAZEN-WILLIAMS. Aunque existen otras, ésta es la más aceptada.

$$Q = 6.69 C D^{2.63} (h_f / L)^{0.54}$$

- Q = Litros/seg
- 6.69 = Constante
- C = Coeficiente
- D = Diámetro del tubo en metros
- H<sub>f</sub> = Pérdida de carga en metros

L = Longitud de la tubería en kilómetros

C = 100 para tubería de hierro con algunos años de uso

C = 130 para tubería de hierro lisa y nueva

C = 140 para tubería recta y muy lisa

C = 150 para tubería PVC.

Ejemplo para el uso de la fórmula de HAZEN-WILLIAMS

Se requiere determinar qué caudal se obtendrá con una tubería PVC de 6" de diámetro y de 6 kilómetros de longitud, con una pérdida de carga Hf de 25.00 metros.

Como el diámetro de la tubería está en pulgadas, hay que pasarlo a metros.  
 $6'' \times 2.54/100 = 0.1524 \text{ m}$

Aplicando la fórmula tenemos:

$$Q = 6.69 C D^{2.63} (h_f/L)^{0.54}$$

$$Q = 6.69 \times 150 \times (0.1524)^{2.63} (25/6)^{0.54}$$

$$Q = 15.40 \text{ litros/seg}$$

A veces en la práctica ya se conoce el caudal de diseño; entonces lo que se necesita conocer son los otros términos de la ecuación, como el diámetro requerido, la pérdida disponible o la longitud. Entonces por simples despejes de álgebra se derivan las siguientes ecuaciones:

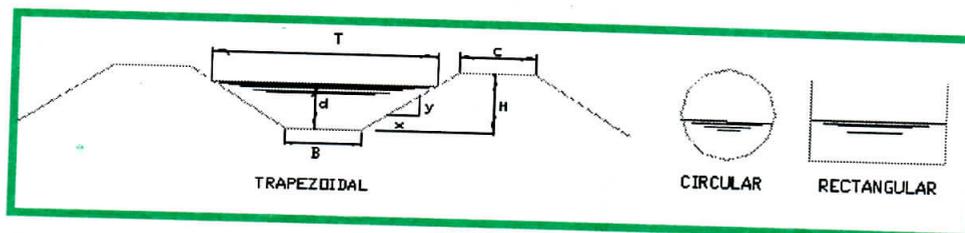
$$D = \sqrt[0.38]{Q / 6.69 \times C \times (h_f / L)^{0.54}}$$

$$H_f = \sqrt[1.852]{Q / 6.69 \times C \times D^{2.63}} \times L$$

### 3.6 Circulación de agua en canales

Los canales son conductos abiertos en los cuales el agua circula, debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, pues la superficie libre del líquido está en contacto con la atmósfera. Cuando en un tubo circula agua ocupando parte de la sección, se dice que el tubo está trabajando como canal. Puede suceder que un canal esté cerrado como en el caso de los conductos que sirven de alcantarillas para que circule el agua de desecho y que eventualmente se produzca alguna presión, debido a la formación de gases por descomposición de las materias en solución y en suspensión, pero o es pequeña o tiene manera de escape, por lo que el conducto se sigue considerando como canal.

En resumen, la sección transversal de un canal puede tener cualquier forma. Las más comunes se encuentran en la siguiente figura:



En nuestro caso, la condición de escurrimiento constante será tomada en cuenta para que la cantidad de agua que pasa por cualquier sección de la corriente sea constante. Para ser uniforme el escurrimiento, todas las secciones transversales deben ser idénticas en forma y superficie, necesiéndose en cada sección **un tirante constante y una velocidad media constante**. En estas condiciones, la superficie del agua es paralela al fondo, y ambos tienen un ángulo de inclinación "a" con la (h)orizontal.

La inclinación de la superficie se referirá como **la pendiente** del conducto, y se expresa como sigue:

$$S = h / l$$

En donde (h) es la caída vertical que ocurre en el tramo del conducto, (l) y (S) es el seno a (ángulo de inclinación con la horizontal). En cualquier sección transversal ABCD, aquella del revestimiento del conducto que queda en contacto con la corriente se conoce como **el perímetro mojado**. La relación del área al perímetro mojado es un factor importante en la cantidad del escurrimiento y por eso se le da el nombre de **radio hidráulico tirante medio hidráulico**.

**Radio Hidráulico R = Área / Perímetro**

El término tiene poca significación por sí mismo, pero es muy importante para el cálculo de caudales en conducto abiertos.

En 1890 Manning, un ingeniero irlandés, sugirió la siguiente fórmula para calcular la velocidad en canales abiertos:

$$V = (1 / n) \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

V = Velocidad en metros por segundo.

n = Coeficiente de rugosidad.

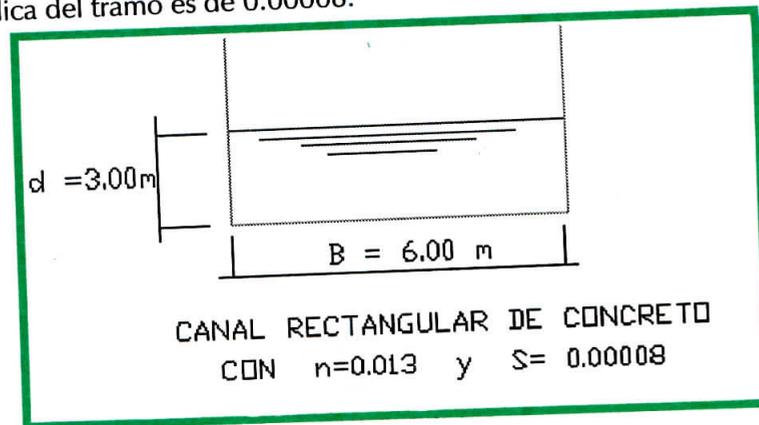
R = Radio hidráulica.

S = Pendiente.

Ejemplo del uso de la fórmula

Determinar la velocidad y el caudal de agua en un canal rectangular de concreto con un factor de rugosidad  $n = 0.013$ , la base B del canal es de

6.00 metros, el tirante **d** o profundidad es de 3.00 metros, y la pendiente hidráulica del tramo es de 0.00008.



El área de la sección es  $6.00 \times 3.00 = 18.00 \text{ m}^2$   
 El perímetro mojado es  $6.00 + 3.00 + 3.00 = 12.00 \text{ m}$ .

El radio hidráulico es el área dividida por el perímetro mojado  $R = A/P$

$$R = 18.00 / 12.00 = 1.5$$

Aplicando la fórmula tenemos:

$$V = (1/n) \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

$$V = (1/0.13) \times 1.5^{2/3} \times 0.00008^{1/2}$$

$$V = 0.9 \text{ m/seg.}$$

Recordemos que ya habíamos indicado que  $Q = V \times A$

El área  $A = 18.00 \text{ m}^2$ , la velocidad  $V = 0.9 \text{ m/seg}$

$$Q = 18.00 \text{ m}^2 \times 0.9 \text{ m/seg}$$

$$Q = 16.2 \text{ m}^3/\text{seg}$$

## EVALUACIÓN

### Ejercicios del tema

1. Un vertedor rectangular con contracciones laterales tiene una cresta de 3.16 m de longitud y está situado 1.18 m arriba del fondo del canal. Si el canal tiene una anchura de 4.88 m ¿cuál sería la cantidad de agua descargada con una carga hidráulica de 0.27 m?
2. Un vertedor triangular tiene una escotadura de  $90^\circ$  ¿qué carga hidráulica será necesaria para tener un caudal de 63 litros por segundos?
3. Calcular la descarga de una tubería de PVC de 30" de diámetro y una longitud de 982.00 m desde un deposito de almacenamiento, cuya

- superficie está a 14.00 m arriba del otro extremo de la tubería.
4. Dos depósitos de almacenamiento con una diferencia de nivel de 27.44 m están conectados por 3200 m de tubería de PVC de 12" de diámetro. Calcular el caudal.
  5. ¿A qué profundidad escurrirá el agua en un canal rectangular de 4.27 m que lleva un caudal de 17.43 m<sup>3</sup>/seg, si el coeficiente de rugosidad  $n = 0.012$  y la sección del canal tiene una pendiente  $s = 0.00075$
  6. Un conducto circular de PVC de 1.00 m de diámetro escurre agua lleno hasta la mitad, con una pendiente  $s = 0.0005$ . Calcular la descarga probable. Asumiendo una rugosidad  $n = 0.009$ .

### Desarrollo y respuestas

1.  $Q = 1.84 (L - 0.2h) h^{1.5}$   
 $Q = 1.84(3.16 - 0.2 \cdot 0.27) 0.27^{1.5}$   
 $Q = 0.802 \text{ m}^3 / \text{seg}$
2.  $Q = 63.00 \text{ litros / seg}$   
 $Q = 0.063 \text{ m}^3 / \text{seg}$   
 $Q = 1.34 H^{2.47}$   
 $0.063 = 1.34 H^{2.47}$   
 $H^{2.47} = 0.063 / 1.34$   
 $H = 0.29 \text{ m}$
3.  $\text{Diam.} = 30'' = 0.762 \text{ m}$   
 $L = 982 \text{ m} = 0.982 \text{ Km}$   
 $hf = 14.00 \text{ m}$   
 $C = 150 \text{ (P.V.C)}$   
 $Q = 6.69CD^{2.63} (hf/L)^{0.54}$   
 $Q = 6.69 \times 150 \times (0.762)^{2.63} (14.00 / 0.982)^{0.54}$   
 $Q = 2,062 \text{ Lts / seg}$
4.  $hf = 27.44 \text{ m}$   
 $L = 3200 \text{ m} = 3.2 \text{ Km}$   
 $\text{Diam} = 12'' = 0.305 \text{ m}$   
 $Q = 6.69CD^{2.63} (hf/L)^{0.54}$   
 $Q = 6.69 \times 150 \times (0.305)^{2.63} (27.44 / 3.2)^{0.54}$   
 $Q = 141 \text{ Lts / seg}$
5.  $Q = 17.43 \text{ m}^3$   
 $B = 4.27 \text{ m}$   
 $S = 0.00075$   
 $n = 0.012$   
 $H = ?$   
 $Q = V \times A$   
 $\text{Área} = 4.27H$   
 $R = \text{Área} / P_m$

$$\begin{aligned}R^{2/3} &= (4.27H / 2H + 4.27)^{2/3} \\17.43 / 4.27H &= V \\4.08 / H &= V \\4.08 / H &= 1 / n \times S^{1/2} \times R^{2/3} \\4.08 / H &= 1 / 0.012 \times 0.00075^{1/2} \times (4.27H / 2H + 4.27)^{2/3} \\2.39 / H^{1.5} &= (4.27H / 2H + 4.27) \\10.20 &= 4.27 H^{2.5} \quad 4.78 H \\ \text{Por tanteo encontramos } H & \\ \mathbf{H = 1.80 m} & \end{aligned}$$

6. Diam. = 1.00 m  
S = 0.0005  
n = 0.009  
Área =  $f \cdot R^2$   
Área =  $f \cdot (0.5)^2$   
Área = 0.785 m<sup>2</sup>  
R = Área / Pm  
Pm =  $f \cdot D$   
Pm = 3.14  
 $R^{2/3} = (0.785 / 3.14)^{2/3}$   
 $R^{2/3} = 0.6299$   
 $V = 1 / n \times S^{1/2} \times R^{2/3}$   
 $V = 1 / 0.009 \times 0.0005^{1/2} \times (0.785 / 3.14)^{2/3}$   
V = 1.5649 m / seg  
Q = V x A  
Q = 1.5649 x 0.393  
Q = 0.6150 m<sup>3</sup> / seg

### Bibliografía

- Trueba Coronel, Samuel. Hidráulica.
- E. Russell, George. Hidráulica
- Siles, Kanaldv. Mecánica de los fluidos e hidráulica.

## 4. METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA

En este capítulo se señalan los principales instrumentos que debe contener una estación climatológica, así como el tipo de información que de ellos se deriva. Asimismo, se establece una nueva relación entre el alumno y el docente mediante la incorporación de nuevos términos técnicos a su vocabulario para la comprensión de esta disciplina.

Se presenta el método para la estimación de la evapotranspiración potencial, ETP, a partir de datos climáticos y de evaporación de tanques tipo A. La evapotranspiración potencial de cosechas bajo condiciones favorables de crecimiento se estima de ETP y de los coeficientes de cosecha  $K_c$ . Se desarrolla un concepto de precipitación confiable, que se utiliza para relacionar la humedad adecuada.

Finalmente, se ilustra con un balance hídrico la importancia de la recapitulación de datos pluviales y la poderosa manipulación de la estadística, que se usará en el diseño del más adecuado sistema de riego que el técnico experto proponga.

### Requisitos

- Previo al inicio de las clases, los docentes deberán ser instruidos por los técnicos que instalarán los aparatos e instrumentos en la estación climatológica para evacuar las dudas que se presentan.
- Los cálculos que se pretenden obtener a través de la aplicación de las fórmulas requieren de algunos conocimientos básicos de matemáticas como son: la potenciación, radicales y estadística. Por lo que se recomienda revisar la base matemática que esté recibiendo el alumnado para dotarlo de conocimientos sólidos y consistentes y así pueda asimilar los principios físico-matemáticos expuestos, sin los cuales, de poco o nada servirán los conocimientos que se tratan de implementar mediante este mecanismo.
- El uso y manejo de calculadoras científicas es indispensable para lograr los rendimientos óptimos esperados en el desarrollo del tema.

A continuación se señalan los temas en el campo de las matemáticas que se sugiere se reforzar:

- Factorización de polinomios
- Expresiones algebraicas racionales
- Desigualdades
- Sistemas de ecuaciones lineales
- Funciones
- Funciones exponenciales
- Principios básicos de geometría
- Principios básicos de trigonometría

- Principios básicos de física elemental.
- Principios de hidrostática e hidrodinámica.

### Actividades del docente

- Desarrollar dos temas por clase como mínimo.
- Ilustrar los temas con láminas, mapas, dibujos y/o bosquejos.
- En la siguiente clase hacer una evaluación teórica de los temas tratados en la clase anterior, básicamente para obligar al alumno a memorizar y retener las definiciones.
- Reforzar los tópicos en que se denote debilidad en los alumnos, volviendo sobre el tema con mayor énfasis e ilustración. Reevaluar los conceptos teóricos.
- Revisar y estudiar el manual que cada instrumento trae consigo para su uso, manejo y mantenimiento, con el propósito de transmitir esto a los alumnos.
- Evaluar el grado de asimilación que el alumno haya adquirido de los manuales de mantenimiento que traen los aparatos desde la casa que los fabrica.

### Actividades de los alumnos

- Identificar por su nombre y función cada uno de los instrumentos sugeridos por el docente.
- Manejar el lenguaje técnico por medio de la memorización de las definiciones teóricas.
- Conocer adecuadamente el mantenimiento, uso y limpieza de cada instrumento, por medio de literatura que el docente le proporcione.
- Elaborar un archivo de todo el material entregado por el docente, así como de las evaluaciones y trabajos de investigación que se propongan.

## 4.1 Climatología

---

La climatología describe los distintos tipos de climas y los factores que los condicionan.

---

**Definición:** es el estudio científico del clima.

De acuerdo a la aplicación, se divide en:

- Climatología agrícola o agro climatología
- Bioclimatología
- Paleoclimatología
- Climatología médica.

La clasificación de la climatología se realiza de acuerdo con: el régimen de temperatura, de precipitación, humedad y el régimen de los vientos.

**Las zonas climáticas** del planeta están limitadas por los círculos Árticos y Antárticos y por los trópicos de Cáncer y Capricornio. Los círculos Árticos y

Antárticos forman respectivamente el límite de la zona glacial Ártica, que llega hasta el polo norte y de la zona glacial Antártica, que se extiende hasta el polo sur. Por otra parte, los círculos mencionados constituyen los límites superior e inferior respectivamente de las zonas templadas norte y sur. Los trópicos de Cáncer y Capricornio son los límites inferior y superior, respectivamente, de las zonas templadas y a la vez constituyen los límites de la zona tropical, que abarca casi el 60% de la superficie del globo terráqueo.

Dentro de la climatología y la meteorología se estudian los fenómenos físicos de la atmósfera que generan y condicionan el clima, su interacción y el intercambio tierra-aire. Igualmente, la periodicidad de los fenómenos meteorológicos que deben ser fácilmente localizables. Además, los fenómenos deben tener variabilidad y se estudian sus perturbaciones. En la climatología desde el punto de vista de la meteorología sinóptica (observación) se toma en cuenta el efecto de los pasos de los frentes, de las masas de aire de la ITC (zona intertropical de convergencia de los vientos alisios) etc. en la distribución de los fenómenos climáticos en el curso del año.

La meteorología es una parte de la física que estudia los fenómenos naturales de la atmósfera terrestre y los factores que producen el tiempo atmosférico, por esto va de la mano con el estudio de la climatología.

Existe también el estudio de la climatología desde el punto de vista ecológico, en la cual se considera el efecto de las acciones y reacciones entre el ser viviente y el medio ambiente, de manera que la climatología viene a ser en cierto modo una rama de las ciencias biológicas.

#### La observación climatológica

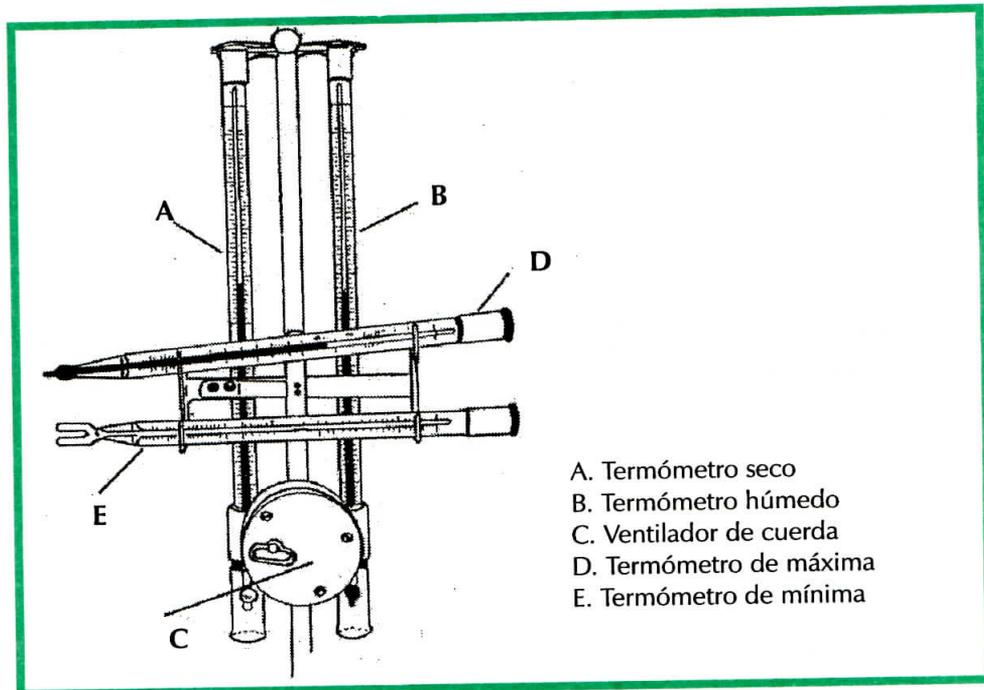
Las observaciones obtenidas de las estaciones con fines climatológicos deben tener representatividad del entorno que se pretende estudiar. Para mayor representatividad, el área debe estar libre de obstáculos naturales y artificiales, preferiblemente debe estar completamente despejada en unos 100 metros cuadrados. Los instrumentos deben tener un buen grado de precisión, sobre todo cuando las estaciones sean sinópticas (lecturas directas).

Las estaciones climatológicas se clasifican de acuerdo con su programa de observación y, a la vez, en función del número de instrumentos que poseen, así:

- **Estaciones pluviométricas:** poseen un pluviómetro.
- **Estaciones termo-pluviométricas:** poseen un pluviómetro y termómetros.
- **Estaciones HMO (Hidrometeorológicas Ordinarias):** poseen aspirómetro, termómetro de máxima, de mínima, higrómetro, evaporímetro Piche, tanque de evaporación, anemómetro totalizador, pluviógrafo y geotermómetros.
- **Estaciones HMP (Hidrometeorológicas Principales):** poseen aspirómetro, termómetro de máxima, de mínima, higrómetro, evaporímetro Piche, tanque de evaporación, termómetros flotantes en el tanque de evaporación, anemómetro totalizador, pluviógrafo, geotermómetros, actinógrafo, heliógrafo y anemocinómetro.

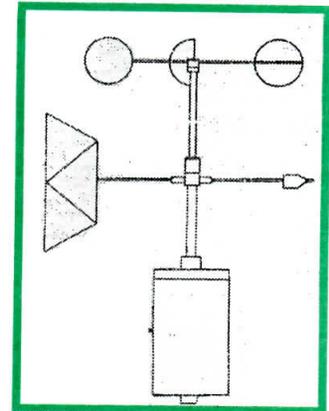
## 4.2 Utilidad de cada instrumento

- **El pluviómetro:** sirve para tomar lecturas instantáneas de la precipitación (lluvia). Ver figura.
- **Termómetro de máxima:** sirve para registrar la temperatura más alta de cada día (ver aspiro sicrómetro).
- **Termómetro de mínima:** sirve para registrar la temperatura más baja que sucede cada día y se lee a las 7:00 a.m. (ver aspiro sicrómetro).
- **Aspiro psicrómetro:** sirve para obtener la humedad relativa, la temperatura, punto de rocío y la tensión de vapor del agua. Consta de dos termómetros paralelos de los cuales en uno de ellos se mantiene colocada en su bulbo una muselina (tela), la que se humedece cada vez que se toma una lectura. Además, tiene un ventilador que se acciona cuando se ha humedecido la muselina para la toma de lectura.



- **Higrotermógrafo:** registra en una sola gráfica la temperatura ambiente y la humedad relativa.
- **Tanque de evaporación:** mide la evaporación de la superficie del agua en milímetros diariamente. En las estaciones climatológicas se lee todos los días a las 7:00 a.m., a la 1:00 p.m. y a las 6:00 p.m.

- **Anemómetro totalizador:** mide la dirección y velocidad del viento. La dirección se registra desde donde sopla el viento según los grados de la rosa náutica. Registra la velocidad instantánea al momento de la observación.
- **Pluviógrafo:** en una gráfica registra la cantidad o intensidad de la precipitación. De su registro continuo puede determinarse la intensidad de la precipitación, ya sea por minutos o por horas.



Anemómetro totalizador

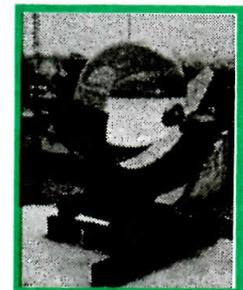


Pluviógrafo.

- **Geotermómetros:** registran la temperatura del suelo a diferentes niveles o profundidades. La temperatura del suelo es más isoterma (de igual temperatura) mientras mayor es la profundidad, es decir que varía menos en el tiempo, mientras mayor es la profundidad (oscila menos a mayor profundidad).
- **Actinógrafo:** es el instrumento que registra la intensidad de la radiación solar en calorías por centímetro cuadrado.
- **Heliógrafo:** registra en una faja, hecha de papel especial y con graduaciones correspondientes, las horas y fracciones de horas del día, los momentos en que la radiación solar no es interceptada por las nubes

y llega a la superficie. En otras palabras, registra las horas de sol o brillo solar. Consiste en una esfera de cristal que, cuando el sol brilla, quema la faja graduada.

El conocimiento del número de horas de sol es aplicable a los asuntos de la agricultura. Algunas plantas crecen con un elevado número de horas de sol, como es el caso de la uva; mientras que otras, como el café y algunas plantas ornamentales, prefieren menos horas de sol.



Heliógrafo

- **Anemocinemógrafo:** registra la dirección de donde sopla el viento según la rosa náutica y la velocidad instantánea del viento en metros por segundo, además de las ráfagas máximas. La lectura de la dirección del viento se registra en el tercio inferior de la gráfica.

### 4.3 Agroclimatología

El propósito de la agroclimatología es proporcionar los medios para determinar la evapotranspiración (Et) para varios cultivos en diferentes áreas de Honduras.

#### Requerimientos

- Descripción de la fórmula de Hargreaves y la definición de cada uno de sus términos para calcular la evapotranspiración potencial (Eto) en varias regiones de Honduras.
- Un listado de tablas necesarias para calcular Eto por dicho método.
- Una lista de coeficientes de cultivos (Kc) requerido para convertir Eto a Et.
- Una metodología para convertir Eto a Et.
- Si el usuario desea ampliar sobre otras metodologías afines, puede referirse a cualquiera de las publicaciones citadas en la sección de referencias.

### 4.4 Definición de términos

#### Concepto de Et

La evapotranspiración (Et) es la cantidad de agua que será utilizada por cultivos diferentes al cultivo de referencia.

#### Evapotranspiración potencial (ETP)

Es la cantidad de agua evaporada y transpirada por una cobertura de pequeñas plantas verdes (generalmente pasto) en estado activo de crecimiento y con un suministro continuo y adecuado de humedad. Se considera dependiente del clima y puede ser estimado de parámetros climáticos, dentro de los cuales los más importantes son la radiación incidente disponible, temperatura ambiente y humedad relativa. La radiación incidente está relacionada con la radiación extraterrestre que llega a la capa más externa de la atmósfera y es modificada por los factores que influyen su transmisión a través de la atmósfera, tales como la nubosidad. Estos parámetros climáticos no son independientes uno del otro, sino que están interrelacionados en una forma compleja. Para tal efecto se usa un lisímetro (tanque para que se evapore el agua) de 20 pies de diámetro (aproximadamente 6.00 metros) sembrado con pasto. El Comité Técnico para requerimientos de riego de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles "ASCE" ha utilizado alfalfa como un estándar para la evapotranspiración potencial.

#### Evapotranspiración real (ETR)

Es el uso potencial de agua por los cultivos agrícolas, incluyendo evaporación directa de la humedad del suelo y de las plantas húmedas. Depende del clima, del tipo de cultivo y asume un suministro adecuado de humedad.