

VI MEDICIONES PLUVIOMÉTRICAS Y PIEZOMÉTRICAS

6.1 PRINCIPIOS DE LA PLUVIOMETRÍA

Como se ha expuesto en capítulos anteriores, de los factores naturales más importantes que ocasionan la inestabilidad de laderas son las lluvias intensas y prolongadas. La medición del régimen pluviométrico proporciona elementos para conocer las posibles causas de la inestabilidad de laderas de una manera temprana, y así reducir sus efectos.

La importancia de exponer los principios pluviométricos se debe a que la lámina de lluvia en una tormenta llega a tener variaciones importantes en distancias cortas, por lo que es necesario instalar una cantidad considerable de pluviómetros, posiblemente algunos automatizados y otros contruidos de manera austera con el material disponible.

6.1.1 Aparatos de medición

La precipitación pluvial se mide en términos de la altura de la lámina de agua, h_p , y se expresa comúnmente en milímetros. Los aparatos de medición se basan en la exposición a la intemperie de un recipiente cilíndrico abierto en su parte superior, en el cual se recoge el agua producto de la lluvia. Dichos aparatos se clasifican de acuerdo con la forma en que registran la precipitación en pluviómetros y pluviógrafos.

El pluviómetro consiste comúnmente en un recipiente cilíndrico de lámina de acero con aproximadamente 20 cm de diámetro y 60 cm de altura. La tapa del cilindro es un embudo receptor, el cual conduce el agua hacia una probeta de sección transversal diez veces menor que la de la tapa, como se ve en la Fig. 6.1.

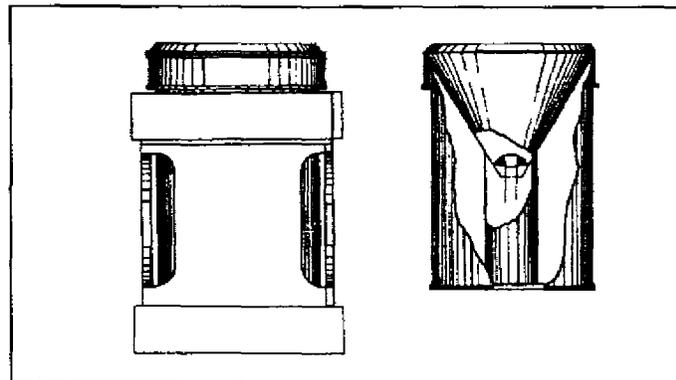


Fig. 6.1 Pluviómetro común

La forma del pluviómetro permite medir la altura de la lluvia en la probeta con una aproximación hasta décimos de milímetro, ya que cada centímetro medido en la probeta corresponde a un milímetro de altura de lluvia; para medirla se saca la probeta y se introduce una regla graduada, con la cual se toma la lectura; generalmente se acostumbra hacer una lectura cada 24 horas.

Cuando el equipo mencionado usa un registrador automático para medir constantemente la lámina en intervalos tan pequeños como un minuto de duración se llama pluviógrafo. Para ello, al equipo se le incorpora un sensor que convierte la intensidad o nivel de la lluvia en una señal medible. El pluviógrafo común lleva un registro de altura de lluvia contra tiempo, cuyo mecanismo está constituido por un embudo receptor que está ligado a un sistema de flotadores, los cuales originan el movimiento de una aguja sobre un papel registrador montado en un sistema de reloj. Fig. 6.2. Como el papel registrador tiene un cierto rango en cuanto a la altura de registro, una vez que la aguja llega al

borde superior automáticamente regresa al borde inferior y sigue registrando, tal como se aprecia en la Fig. 6.3. Utilizando el pluviógrafo se conoce la intensidad de precipitación, i , que se define como la altura de precipitación, h_p , entre el tiempo en que se origina, Δt .

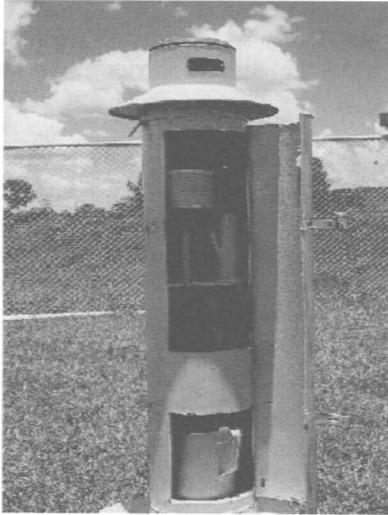


Fig. 6.2 Pluviógrafo común con un sistema de reloj

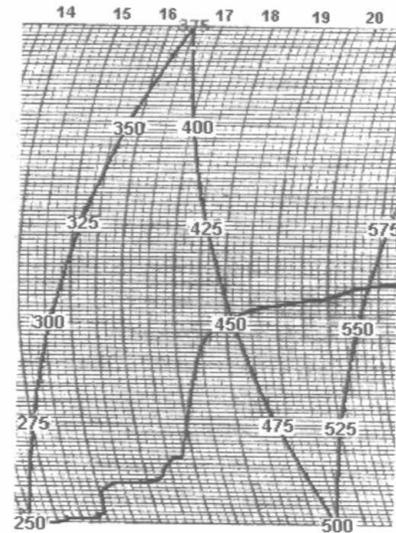


Fig. 6.3 Papel registrador con la Señal impresa del pluviógrafo

6.2 GUÍAS PARA EVENTUALMENTE CONSTRUIR UN PLUVIÓMETRO

Debido a que la variación de la precipitación pluvial en una tormenta llega a ser tan grande como 200 mm durante ocho horas en una distancia de 3 km (Brand, E. 1985), es necesario instrumentar con el mayor número de pluviómetros posibles las zonas con alto riesgo a la inestabilidad de laderas debido a lluvias intensas. Por tal motivo, se presentan a continuación propuestas para diseñar y construir equipo alternativo, con base en los principios de la pluviometría, utilizando el material que se tiene al alcance en aquellos lugares donde no se dispone de los recursos adecuados, y que los propios lugareños pueden realizar y monitorear.

6.2.1 Medidor hecho con una botella de refresco

Un pluviómetro puede construirse de manera muy simple y barata si se recurre a material incluso de desecho tal como una botella plástica de refresco de dos litros; su construcción es muy sencilla y se realiza de la forma siguiente:

- Cortar la botella de plástico en la zona que cambia de la forma de cilindro hueco a una de cono invertido.
- Invertir la parte superior de la botella y sellar el filo de la unión con cinta *masking tape*, esto ayuda a que el agua adentro del medidor no se evapore.
- Llenar el fondo de la botella con agua, justo hasta la parte alta del pie; este nivel se convertirá en el nivel cero de la lámina de lluvia en el medidor.
- Señalar una marca para la línea cero en mm; ello se puede hacer sobre una cinta o etiqueta pegada a la botella.

- Usar la regla para marcar la altura de la lámina de agua en mm, a partir de la línea cero. De esta forma el medidor de lluvia está listo para que se coloque en un lugar seguro, abierto a la lluvia y donde no sea golpeado ó maltratado. Para el caso podrá recurrirse al soporte descrito en el subinciso siguiente

6.2.2 Medidor de vaso con soporte

Un vaso de vidrio o plástico con forma cilíndrica puede servir como pluviómetro portátil, para medir rápidamente la lámina de agua en cualquier lugar que así se desee; no es tan exacto como un equipo diseñado para este fin, pero sí puede dar una lectura razonable. Para evitar que se lo lleve el viento se debe construir un soporte de alambre y fijarlo con clavos a una cerca o poste de madera, el vaciado es manual y debe hacerse cada vez que el nivel del agua llegue a la última línea de la escala. Para construirlo se necesita alambre, martillo, clavos, regla y cinta masking tape y seguir los pasos que a continuación se presentan:

- Con el alambre construir un soporte como el de la Fig. 6.4, de forma tal que entre justo el vaso.
- Poner agua al recipiente hasta la parte alta del pie y marcar la línea cero.
- Con la regla marcar a partir de la línea cero la escala en milímetros.
- Fijar con clavos el soporte sobre una cerca de madera e introducir el recipiente.

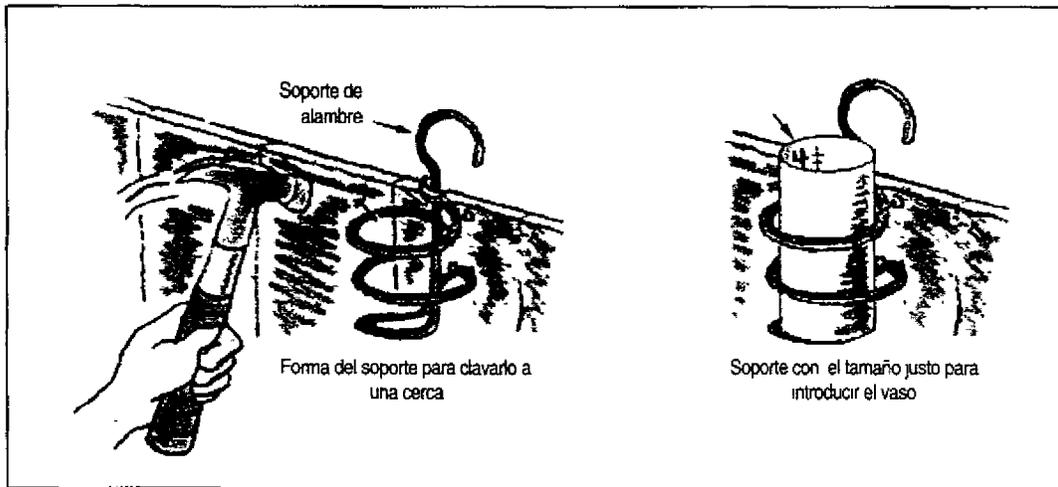


Fig. 6. 4 Esquema del medidor con soporte

6.3 MONITOREO DE PLUVIÓMETROS Y POSIBLE AUTOMATIZACIÓN

Para tener datos confiables del monitoreo se deben ubicar los equipos en lugares abiertos y seguros, de tal forma que no se volteen ni se rompan. Debe haber una persona que se encargue de llevar el control de la cantidad de agua que se capta, revisando periódicamente el nivel del agua del recipiente y tomando lecturas cada 12 ó 24 horas; la organización de los datos debe hacerse por semanas, meses y años.

Seguramente habrá lugares en los que se cuente con los recursos para adquirir pluviógrafos, incluso automatizados, que registren las lecturas y las vayan guardando en una memoria. De este tipo de pluviógrafos existen en el mercado una gran variedad con costos diferentes; a continuación se presentan algunas opciones.

6.3.1 Pluviógrafo RRG-1

Los datos de la lámina de lluvia pueden ser monitoreados desde el pluviómetro RRG-1 con una computadora laptop, conectándola directamente a la tarjeta analógica digital o a control remoto por teléfono ó radio módem.

El pluviógrafo RRG-1 incluye una memoria de datos, un recipiente como medidor de lluvia, soporte, caseta, base de aluminio y conexiones del hardware, ver Fig.6.5. La memoria de datos puede guardar registros de por lo menos 62 días de información de lluvia por horas. Los elementos electrónicos están en el interior de un vaso sellado, para cubrirlos y protegerlos contra relámpagos que inducen descargas de alto voltaje.

Para obtener mayor información al respecto puede consultarse la dirección electrónica siguiente: http://www.ftsinc.com/Sensor/recording_rain_gauge.htm.



Fig. 6.5 Pluviógrafo RRG-1

6.3.2 Pluviógrafo RGR-122

Con el pluviómetro RGR-122 se pueden monitorear los datos de los niveles de lluvia con distancias no mayores a 90 m. La transmisión de los datos se hace con ondas de radio, las cuales tienen la peculiaridad de que la información se envía del radio al recipiente sin tener una línea de vista o directa de comunicación. Dicho equipo guarda los datos de la lluvia diaria, anual y el total de 9 días, y tiene una alarma programable para alertar cuando se alcanza el umbral de lluvia establecido.

También tiene un recipiente que se vacía automáticamente cada vez que se llena, y un medidor interno de temperatura que guarda las lecturas extremas del día en una memoria, Fig. 6.6. Para mayor información sobre este equipo, consultar la pagina <http://www.bikeworld.com/oregon/rgr122.htm>.



Fig. 6.6 Fotografía del pluviógrafo RGR-122

6.3.3 Descripción de una estación pluviométrica del CENAPRED

A continuación se describe una de las estaciones pluviométricas que forman, junto con estaciones hidrométricas, el sistema de alerta hidrometeorológica de Acapulco, Guerrero, integrada por investigadores del CENAPRED.

Las estaciones de registro de precipitación fueron diseñadas para que trabajen de manera remota e inteligente, con un procesador que controla, mide y registra los datos de la precipitación y además los almacena temporalmente en una memoria. Una vez que los datos son recolectados, se guardan en un archivo para su proceso y análisis por las computadoras. Cada estación consta de un pluviómetro, un panel solar, una batería, una antena y un módulo electrónico de registro y control. El pluviómetro es del tipo balancín y está constituido por un sensor de precipitación, un circuito electrónico que almacena los datos proporcionados por el sensor y un contador electromecánico, Fig. 6.7.

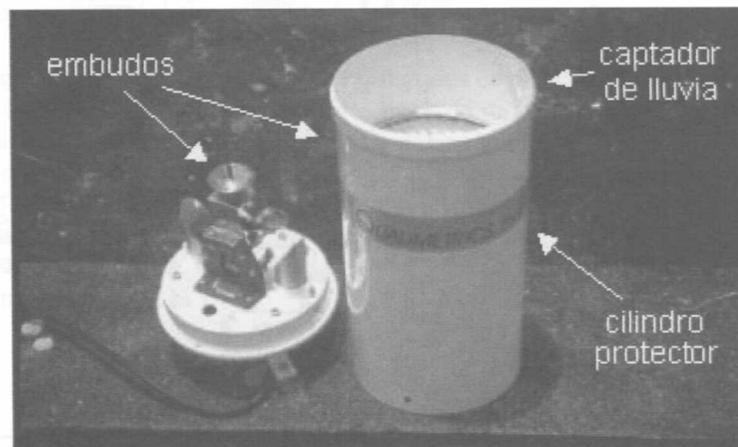


Fig. 6.7 Pluviómetro del tipo balancín

El pluviómetro capta el agua en un recipiente cilíndrico y la conduce por un embudo a un balancín con dos vertedores; cuando el peso del agua que llena uno de los vertedores llega a una cierta cantidad, el balancín pierde el equilibrio provocando que se vierta el agua y quede en posición para que la capte el otro vertedor. Con cada movimiento del balancín se activa un interruptor que produce una señal, la cual queda gravada como pulso o cuenta en una tarjeta de control y registro; cada pulso representa una cierta cantidad de lámina de lluvia medida en milímetros. Los pluviómetros utilizados fueron calibrados para producir un balanceo o pulso cada 0.25 mm de lluvia; por tanto, para obtener la precipitación se suman los pulsos y se multiplican por 0.25 mm. El equipo cuenta con una batería, la celda solar y el circuito que regula la carga del voltaje; estos elementos son para garantizar el suministro de energía permanentemente y que ésta sea independiente de la línea comercial. Un esquema de los equipos y su instalación se muestra en la Fig. 6.8.

Una vez medida y registrada la precipitación acumulada y la intensidad de la lluvia, se envía la información por telemetría a un puesto central de registro. En este lugar se procesan los datos con base en los modelos de lluvia-escurrimiento, usados para estimar los gastos de agua esperados en las zonas vulnerables a inundaciones. Con dichos modelos se obtienen los niveles de precipitación que se comparan con el umbral establecido de lluvia. En el caso de que los niveles rebasen al umbral establecido se activan alarmas que ponen en marcha planes de emergencia preestablecidos, a fin de evitar daños por la posible ocurrencia de inundaciones.

De establecerse por regiones una relación entre historia de precipitación y ocurrencia de deslizamientos de suelos, este mismo sistema que está orientado en principio a alertar a las zonas bajas acerca de inundaciones, podría ser muy útil para prevenir a las zonas más altas y escarpadas de posibles movimientos de avalanchas de suelos y rocas, o de francos deslizamientos.

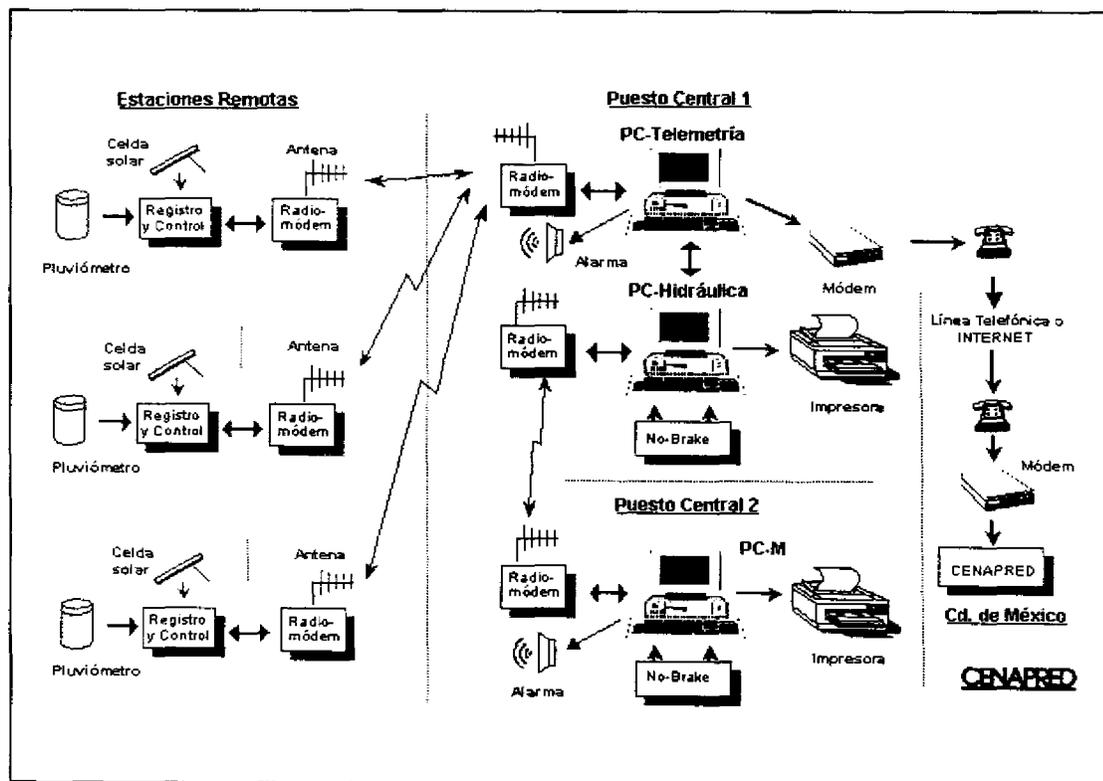


Fig. 6.8 Diagrama de bloques del sistema de medición y alertamiento

Cada estación se colocó en un sitio seleccionado con base en estudios hidrológicos y topográficos, así como para tener enlaces de telemetría; éstos requieren que haya línea visual entre los sitios que se van a comunicar, o sea que no haya obstáculos que interfieran en la transmisión y recepción de datos. Para proteger el equipo, en algunos casos fue necesario construir casetas, donde los aparatos se instalaron en la azotea sobre bases de concreto. Fig. 6.9.

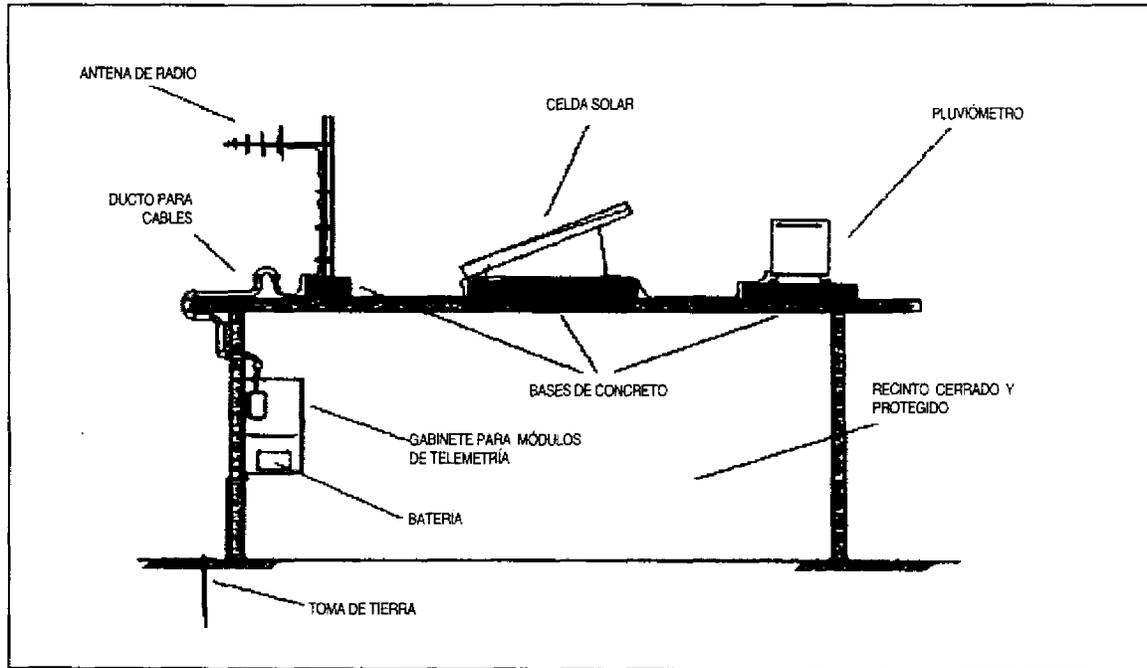


Fig. 6.9 Esquema de los equipos y su instalación

La estación pluviométrica descrita en los párrafos anteriores, esta construida en el CENAPRED para cubrir las necesidades y objetivos del mismo.

6.3.4 Análisis de los registros de lluvias

El hietograma es una gráfica que se genera a partir de los registros de pluviógrafos o de datos de pluviómetros que muestra cómo varía la lámina, h_p , de la lluvia para cierto intervalo de tiempo, Δt ; el área bajo el hietograma representa la intensidad de la lluvia. Para obtener el hietograma de una tormenta primero se debe definir lapso de tiempo para el cual se quiere realizar, que puede ser de 2, 4, 6 y 12 h; luego se calcula para cada intervalo la altura de lluvia registrada en ese lapso. Para calcular un hietograma se usan los registros de los pluviógrafos para intervalos menores a 12 h y los pluviómetros para iguales o mayores; en estos últimos se acostumbra generalmente hacer una lectura cada 24 y rara vez cada 12 h. En la Fig. 6.10 se presenta el registro de una tormenta que duró 12 horas, y en la Fig. 6.11, su hietograma construido con $\Delta t=2$ h.

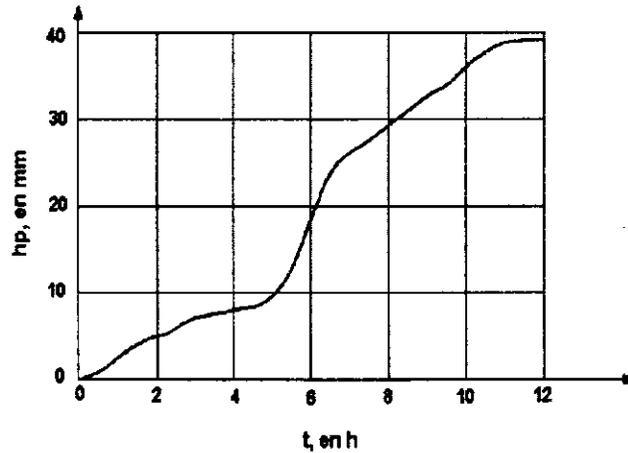


Fig. 6.10 Registro de una tormenta con duración de 12 horas

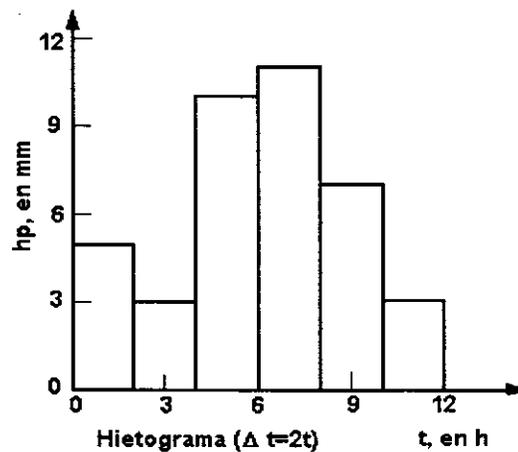


Fig. 6.11 Hietograma para lapsos de dos horas ($\Delta t = 2h$).

Para conocer la altura de precipitación media en una zona, en un periodo determinado de tiempo se tienen tres criterios; estos son:

a) *Promedio aritmético*.- Se suma la altura de lluvia registrada en un cierto tiempo de cada una de las estaciones localizadas dentro de la zona y se divide entre el número total de estaciones. La exactitud de este criterio es mayor conforme se tienen más estaciones; sin embargo, es el más impreciso y el único que no precisa la distribución de la precipitación, ya que ignora la ubicación de las estaciones.

b) *Método de Thiessen*.- En este método es necesario conocer la localización de las estaciones dentro de la zona en estudio, ya que para su aplicación se requiere delimitar la zona de influencia de cada una de ellas. Para determinar dicha zona primero se trazan triángulos que ligan las estaciones más próximas entre sí, ver las líneas punteadas de la Fig. 6.12; posteriormente se trazan líneas (bisectrices) que atraviesan perpendicularmente los lados de los triángulos en

su punto medio y se prolongan hasta que se intersecan entre sí, ver líneas continuas de la Fig. 6.12; la intercepción de dichas líneas forman polígonos, y cada uno de ellos contiene una estación.

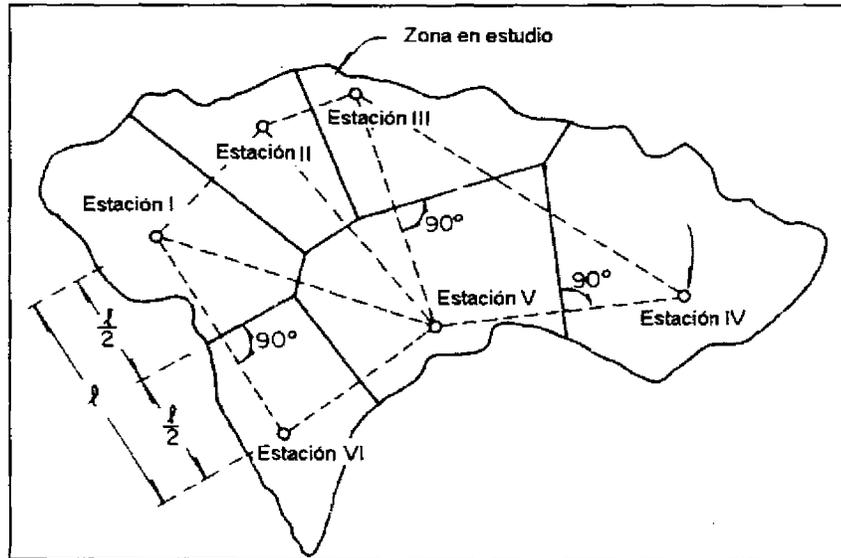


Fig. 6.12 Diagrama que explica el método de Thiessen

Por lo tanto, la altura de precipitación media es:

$$hp_m = \frac{\sum_{i=1}^n hp_i A_i}{A} = \sum_{i=1}^n hp_i \frac{A_i}{A}$$

donde

A área total de la zona, en km²

A_i área total tributaria de la estación i, en km²

hp_i altura de precipitación registrada en la estación i, en mm

hp_m altura de precipitación media en la zona en estudio, en mm

n número de estaciones localizadas dentro de la zona

c) *Método de las isoyetas.*- Para usar este método se necesita un plano de curvas que unan puntos de igual precipitación, llamadas isoyetas, de las diferentes estaciones de la zona en estudio; desde luego, cuanto mayor sea el número de estaciones dentro de la zona en estudio, mayor será la aproximación con la cual se trace el plano de isoyetas.

Para calcular la altura de precipitación media en una determinada zona, se usa la ecuación anterior, pero en este caso A_i corresponde al área entre isoyetas, h_{pi} es la altura de precipitación media entre dos isoyetas y n el número de áreas entre isoyetas.