

CAPÍTULO 3. LA PRECIPITACIÓN

3.1 FORMACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES

En el concepto de **precipitación** se incluye todo tipo de agua que cae o se deposita sobre la superficie terrestre, ya sea en forma líquida o sólida.

La formación de la precipitación impone la existencia de condensación dentro de la atmósfera debida al enfriamiento de ella. Esta condensación se facilita por la presencia en la atmósfera de partículas o moléculas, denominadas núcleos de condensación, entre los que destacan el polvo, las moléculas de cloruro sódico así como productos de la combustión del azufre y compuestos nitrosos.

Existen diversas **formas de condensación**:

- 1. Por elevación frontal.** Cabalgamiento del aire húmedo sobre el aire frío.
- 2. Por elevación orográfica.** Elevación de una masa de aire húmedo cuando intenta traspasar un obstáculo o una región montañosa.
- 3. Por elevación convectiva.** Se produce por el calentamiento del aire (sobre todo en verano) que hace que se cree una corriente de convección que arrastra a toda la masa de aire húmedo hacia arriba.

Se puede demostrar que en unos minutos se puede producir la condensación del agua hasta formar gotas del orden de 10 a 30 micras, pero que se necesitan horas para alcanzar tamaños de gota de 2 a 3 mm. (tamaños habituales en la lluvia).

Por otra parte las microgotas creadas en los inicios de la condensación con tamaños de 10 a 30 micras, tienen una velocidad de caída muy baja, por lo que la turbulencia de la atmósfera las mantiene en suspensión y es este fenómeno el que logra mantener la nube en situación de equilibrio. Con estos condicionantes la formación de lluvia debe explicarse apoyándose en otros procesos que son:

- 1. Coalescencia.** Basándose en la formación de las microgotas, se puede producir un proceso de caída de estas partículas por atrapamiento de las próximas, es decir, si una microgota atrapa en su caída a otra aumenta su volumen y la velocidad de caída por lo que también aumenta la probabilidad de atrapar a un mayor número de microgotas de las existentes en la nube. Por otra parte, la gota que ha crecido por el efecto de la coalescencia hasta alcanzar los 3/5 mm., puede al chocar con otras o por alcanzar un diámetro excesivo, fraccionarse en varios trozos que iniciarían un nuevo proceso de coalescencia.
- 2. Cristales de hielo.** El segundo proceso se basa en la existencia de cristales de hielo en las denominadas nubes frías; estos cristales de forma arborescente tienen una gran capacidad de absorción del vapor de agua y de microgotas, por lo que aumentan de tamaño rápidamente e inician la precipitación, que puede ser en forma de lluvia si se funden en su caída o en forma de nieve si no se produce esta fusión.

Estos fenómenos pueden producirse de forma simultánea aunque son mas frecuentes los cristales de hielo en las partes altas de las nubes frías y los fenómenos de coalescencia en la parte baja de las nubes cálidas.

3.2 LLUVIA ARTIFICIAL

A lo largo de las últimas décadas se ha intentado en varias zonas de la tierra la producción de lluvia artificial. Todos los procesos se basan en facilitar la coalescencia o la formación de núcleos de hielo.

Dentro del primer tipo y en zonas templadas y cálidas, se ha intentado facilitar la coalescencia sembrando la base de las nubes de agua con gotas de tamaño apropiado (2/3 mm.) que actúan como núcleos captadores.

En zonas frías la tendencia se orienta a la creación de cristales de hielo en la parte alta de la nube que aglutinen la condensación. Dentro de este mismo esquema se ha utilizado la nieve carbónica que en su evaporación facilita la formación de cristales de hielo.

El yoduro de plata ha sido también utilizado en la creación de lluvia artificial debido a que es isomorfo con los cristales de hielo.

Sólo se han logrado resultados positivos con las técnicas de lluvia artificial a la hora de evitar catástrofes por lluvias torrenciales, adelantando la lluvia y evitando el desarrollo vertical y por tanto la formación de tormentas fuertes.

3.3 TIPOS DE LLUVIA

Las lluvias se clasifican atendiendo a su formación en:

1. Convectivas. Este tipo de lluvias se forma por procesos de evaporación debidos a la insolación, de forma que el aire húmedo formado en las capas bajas asciende por calentamiento a las capas altas, donde se enfría produciéndose la condensación y la lluvia.

Este fenómeno es clásico en zonas tropicales y en latitudes templadas, donde existen fenómenos análogos durante los períodos estivales pero con menor intensidad. Durante el verano y por efecto de la insolación se producen nubes de desarrollo vertical que en su ascensión se enfrían y pueden producir tormentas.

2. Orográficas. Se producen en las zonas montañosas donde las masas de aire húmedo se enfrían al elevarse por la presencia de las mismas. Dicho enfriamiento lleva consigo la condensación y posterior precipitación. En España es un fenómeno típico de la cordillera Cantábrica, que actúa como barrera del aire húmedo atlántico existiendo zonas áridas más allá de la cadena de montañas. Para que se produzcan este tipo de lluvias la montaña debe tener alturas superiores a los 1.500 o 2.000 m.

3. Ciclónicas. Son las asociadas a los ciclones extratropicales o borrascas y producen lluvias generalizadas; son los típicos frentes que se producen en nuestras latitudes.

3.4 RÉGIMEN PLUVIOMÉTRICO A NIVEL MUNDIAL

La pluviometría a nivel mundial es función principalmente de la latitud así como de la distribución de mares y tierras.

En líneas generales, a nivel mundial se pueden establecer las siguientes zonas:

a) Zona polar. Precipitaciones bajas del orden de 100–200 mm/año, todas ellas en forma de nieve durante el inicio del invierno.

b) Zona templada. Precipitaciones del orden de 800–900 mm/año, producidas en su mayor parte por los ciclones extratropicales al inicio del invierno y de la primavera; puntualmente precipitaciones tormentosas de verano.

c) Zona desértica. Precipitaciones muy bajas de 50–100 mm/año y muy irregulares (tanto en el espacio como en el tiempo).

d) Zona tropical. Alta pluviosidad con valores en torno a los 3000 mm/año, con lluvias diarias convectivas que pueden alcanzar los 5.000 e incluso 10.000 mm/año.

3.5 RÉGIMEN PLUVIOMÉTRICO EN ESPAÑA

España tiene una pluviosidad propia de una región templada, pero debido a su orografía y la influencia del clima mediterráneo, se distinguen varias zonas con diversa pluviosidad:

a) Zona norte húmeda. Con lluvias del orden de 1.000 a 1.100 mm/año, producidas por las borrascas atlánticas unidas a fenómenos orográficos.

b) Zona central. Con lluvias del orden de 500 a 600 mm producidas básicamente por las borrascas atlánticas en primavera y otoño.

c) Zona sur y mediterránea. Menores lluvias que están reducidas a los 300 mm/año en Almería y en algunas zonas de Murcia.

3.6 MEDICIÓN DE LAS PRECIPITACIONES

La medida de la precipitación sobre una cuenca se realiza por medio de los pluviómetros. Se basan en la recogida de la precipitación (lluvia o nieve) en un elemento denominado colector. La precipitación se mide por volumen o pesada y su registro se realiza por lectura directa o por registro gráfico o electrónico. Tales mediciones comenzaron a realizarse en 1940–1945, pero no empezaron a ser realmente fiables hasta hace 15 años.

La recogida de la precipitación es la operación con mayor riesgo de error debido a los siguientes factores:

- a) Los elementos cercanos al pluviómetro, árboles, edificios, pueden variar la distribución de la lluvia.
- b) Las medidas de la lluvia son operaciones irrepetibles.
- c) Las medidas pluviométricas son siempre inferiores a las reales debido a la evaporación, efecto pantalla, etc.
- d) La distribución de la lluvia es muy irregular sobre todo durante las precipitaciones tipo tormenta.

Por todo lo anteriormente citado la instalación de los pluviómetros debe de cumplir las siguientes normas:

1. La boca del colector debe de estar perfectamente horizontal.
2. El pluviómetro debe ser instalado por encima de la superficie del terreno (aprox. 1,5 m.), en una zona despejada pero abrigada de los vientos y lejos de elementos que puedan hacer de pantalla frente a la lluvia tales como árboles, edificios, etc.
3. Si la precipitación es de nieve el efecto de la turbulencia producida por el viento es muy importante por lo que es necesario proteger el colector con una serie de pantallas que faciliten la caída de la nieve lo mas verticalmente posible.

Es necesario evitar el taponamiento por acumulación de nieve del colector por medio del calentamiento o por otros métodos.

4. En zonas cálidas la evaporación puede distorsionar las medidas por lo que es necesario evitarla en la medida de lo posible.

3.7 TIPOS DE PLUVIÓMETROS

1. No registradores. Son los pluviómetros más sencillos y constan de un embudo colector, habitualmente de 8 pulgadas, que recoge la lluvia y la vierte en un tubo medidor de sección menor (1/10 del diámetro del colector), donde por lectura directa (dos veces al día) se conoce la cantidad de lluvia recogida.

2. Registradores. Este tipo de pluviómetros suministra la curva de lluvia en función del tiempo. Este gráfico puede ser un pluviograma o un hietograma.

El **hietograma** es el gráfico de la intensidad de la lluvia en función del tiempo, mientras que el **pluviograma** es la distribución en el tiempo de la precipitación acumulada. Por ello el pluviograma es la integral en el tiempo del hietograma.

En la medida de la lluvia existen tanto errores humanos como producidos por el propio aparato. De estos errores los más habituales son los siguientes:

1. El pluviómetro necesita una precipitación mínima para poder registrarla. Este valor mínimo es función del tipo de pluviómetro, pero suele ser aprox. 0,25 mm. Este tipo de error se produce cada vez que se inicia la precipitación con el pluviómetro seco.

2. Errores debidos a turbulencias del viento, muy acusado cuando la precipitación es de nieve.

3. Error por evaporación. Este error depende de las características climáticas de la zona así como del diseño del propio pluviómetro.

4. Errores debidos a la incorrecta instalación del pluviómetro. Fundamentalmente se trata de la no-horizontaldad del colector.

Por último para que las medidas de lluvia sean fiables se necesita una red pluviográfica suficientemente densa. El número de pluviómetros recomendado por unidad de superficie es función de la orografía, en terrenos montañosos se necesitan mas estaciones pluviométricas.

La distribución de las lluvias es otro condicionante para definir la densidad de pluviómetros.

En zonas llanas basta con una estación cada 100/150 Km², en zona montañosa la densidad debe de ser superior del orden de una cada 20/30 Km².

3.8 ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN

La precipitación en un punto es un proceso estocástico con periodicidad e intensidad muy variables dependiendo de las estaciones. Los parámetros básicos a considerar son:

- Duración de la lluvia;
- Intensidad media de la lluvia;
- Volumen total de la precipitación;
- Tiempo entre precipitaciones sucesivas;

A nivel de cálculo el valor más importante es el volumen total de precipitación P , que puede calcularse según la ecuación $P = I \cdot t$, siendo I la intensidad media y t la duración. Estos dos parámetros no son independientes

ya que como se observa experimentalmente a mayor intensidad la duración es menor y a la inversa.

3.9 CURVAS IDF (INTENSIDAD, DURACIÓN, FRECUENCIA)

En el análisis de la distribución de la precipitación en un punto, además de la relación entre la intensidad y la duración de la tormenta (curvas intensidad–duración), es necesario introducir el concepto de probabilidad o de frecuencia con el fin de poder evaluar riesgos en obras de ingeniería. Este tipo de curvas denominadas IDF tiene la forma general:

$$I = (a \cdot T^n) / (t + b)^m$$

donde I es la intensidad de la tormenta, t es el tiempo de duración, y T el período de retorno en años (probabilidad de que la intensidad de la tormenta I sea de valor $1/T$).

Los parámetros a, b, m y n son función de las características meteorológicas de la zona y deberán ser estimados a partir de los datos experimentales.

* La fórmula que se aplica en Madrid es: $I = 260 \cdot T^{0,42} \cdot t^{0,53}$.

3.10 ANÁLISIS DE SERIES DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS

Cuando se analizan series de datos pluviométricos es habitual encontrarse con períodos más o menos largos en los que en alguna de las estaciones falten datos.

Para poder rellenar estos datos existen varios criterios;, siendo el más extendido el del National Weather Service, basado en una correlación según la fórmula:

$$P = [P_i / r_i^2] / [1 / r_i^2]$$

Donde P es la precipitación que se extrapola y P_i las precipitaciones de las estaciones existentes en el entorno de la que desconocemos la precipitación, y r_i las distancias desde esta estación a las estaciones próximas.

Si existen muchas estaciones el criterio es aplicar la fórmula sólo a las más próximas y como máximo cuatro, una por cuadrante.

3.11 ANÁLISIS DE LOS DATOS

Es frecuente que existan cambios en la situación de los pluviómetros, o en su instrumentación o bien en los procedimientos de observación. Estos cambios muchas veces no son anotados ni publicados con los datos pluviométricos, por lo que es muy recomendable realizar un análisis de los mismos que permita detectar errores sistemáticos. El sistema habitual es el de las dobles masas.

Para ello se dibujan los registros de lluvia acumulados de dos estaciones próximas; un cambio de pendiente indica la existencia de una alteración o de un error en una de las estaciones pluviométricas.

3.12 CÁLCULO DE LA PLUVIOMETRÍA EN UNA CUENCA

En una cuenca suficientemente extensa pueden existir datos de varias estaciones pluviométricas, y se plantea el problema de evaluar una precipitación media. Existen los siguientes métodos de cálculo:

1. Media aritmética de las precipitaciones. Se calcula la precipitación media como la media aritmética de las precipitaciones. Este método sólo es aceptable si existen muchas estaciones y se observa que la

precipitación es similar en todas ellas. Además, el valor calculado no incluye ningún tipo de valoración de la distribución espacial de las estaciones.

2. Método de los polígonos de Thiessen. Se basa en asignar cada punto de la cuenca a la estación más próxima; se deben unir las estaciones de dos en dos y dibujar las mediatrices de estos segmentos, asignando a cada estación el área limitada por las poligonales que forman las mediatrices. La precipitación media será $P_m = (P \cdot S) / (S)$.

3. Método de las isohietas. En la hipótesis de tener suficientes datos como para poder dibujar las isohietas, se puede utilizar este método que consiste en asignar al área entre cada dos isohietas la precipitación media de ellas.

* Las **isohietas** son líneas que unen puntos con la misma precipitación.