

UNA CRÍTICA A LA MEDIDA DE LA PRECIPITACIÓN

Marcelino Núñez Corchero

Meteorólogo. C.M.T. de Extremadura

1.- INTRODUCCIÓN

Gran parte del conocimiento del proceso de la precipitación ha sido inferido de la observación histórica de este fenómeno y del uso de los instrumentos con los cuales intentamos medirla. En las últimas décadas nuevas técnicas de observación basadas en la teledetección han sido considerablemente desarrolladas, y la inferencia de la precipitación, a través de estas medidas realizadas con radar y satélites, ha aumentado profusamente.

En este artículo intentamos hacer una crítica constructiva al método tradicional de medida de la precipitación, repasando sus errores más inconvenientes, apuntando si esas deficiencias pudieran ser subsanadas, al menos en parte, con nuevos métodos y sugiriendo qué procedimientos se podrían utilizar en un futuro.

Entre los principales problemas con los que nos enfrentamos al medir la precipitación están:

1.- La red de Observación. Las observaciones en superficie son casi nulas en zonas deshabitadas como mares, desiertos, casquetes polares, altas montañas, etc. Las estaciones automáticas y las evaluaciones indirectas por radiometría desde satélites, vuelos de aviones y otros medios van mejorando la red de observación, pero aún son desmesuradas las extensiones sin datos en las que ha de actuarse por extrapolaciones.

2.- La dispersión y la incertidumbre de la medida, que pueden ser notables para ciertas situaciones que producen precipitaciones de gran irregularidad, incluso en regiones con densas redes pluviométricas, pues la precipitación recogida en la boca de un pluviómetro de 200 cm² ha de representar muchas veces la lluvia caída en una superficie de 250 km², y frecuentemente más.

La realidad actual, es que obtener

exactitud y precisión en la medida de la precipitación es difícil. Aparte de los clásicos problemas, extensibles a otras variables atmosféricas, como errores instrumentales, errores de localización y errores de posicionamiento, debemos considerar el complejo problema del muestreo, que se complica aún más con la particular variación espacial de la precipitación.

La cantidad de precipitación que llega a la superficie terrestre se mide por la altura que, en forma líquida, alcanzaría sobre una base horizontal. La unidad de precipitación es el milímetro, que corresponde a la altura que alcanzaría una precipitación de un litro por metro cuadrado sobre un suelo llano, horizontal e impermeable. La precisión de los instrumentos que miden la precipitación es de una décima de milímetro. De acuerdo con las recomendaciones de la O.M.M., la precisión de las medidas debe ser de 0.2 mm cuando la precipitación no pase de 10 mm, y para precipitaciones superiores ha de ser del 2%.

En el caso de precipitaciones en forma de nieve, la medida se puede realizar de dos maneras distintas:

1ª) Midiendo la cantidad de agua obtenida al fundir la nieve recogida y adherida a la chimenea del pluviómetro.

2ª) Midiendo el espesor vertical de la nieve en la zona de caída directa.

La altura de la nieve se mide en centímetros, ya que puede aceptarse la relación aproximada de que un centímetro de nieve equivale a un mm de lluvia, si bien esta relación depende de la altura y de la estructura más o menos homogénea de la capa de la nieve, entre otros factores.

De entre los dos métodos arriba citados, parece aceptado que el mejor es fundir la nieve recogida.

2.- MEDIDAS REALIZADAS CON PLUVIÓMETROS.

El más simple y antiguo método de valoración de la cantidad de precipitación es el uso de pluviómetros. Esta técnica proporciona actualmente todos los datos de precipitación en todo el mundo. Este método simple, y aparentemente exacto y preciso, de medida de la precipitación en un punto, es posible ponerlo en práctica con un mínimo de pericia por parte del observador.

La precipitación recogida en el pluviómetro se mide en términos de altura. El primer problema al que nos enfrentamos es el cálculo correcto de esta altura. La medida se realiza con una probeta cuya calibración será exacta si su diámetro coincide con el del embudo, o si está en proporción a él. El problema de la medida, se hace considerablemente más complejo si se intentan medir formas sólidas de precipitación o si se quieren tener en cuenta las pérdidas por evaporación.

La intensidad de la precipitación es también una magnitud importante, como guía para la comprensión de los procesos de precipitación y para planificar el problema de las inundaciones. Convencionalmente la medida de la precipitación se realiza a las 08 horas (UTC) y los períodos usuales de medida son diario, semanal y mensual. Estos períodos no son muy adecuados para medir la intensidad de precipitación, por ello se han desarrollado instrumentos más o menos sofisticados para la estimación de dicha intensidad. En ellos nos encontramos con los mismos problemas de la medida de la altura de la precipitación, pero además, complicados con precipitaciones de baja intensidad medidas en períodos menores que una hora.

En general, el problema de la medida de la precipitación está obstaculizado por varias fuentes de error. Estas fuentes de error se pueden clasificar en tres grupos:

i) El primer grupo lo forman los errores instrumentales, que son debidos al diseño y la naturaleza del instrumento en sí, también forman parte de este grupo los errores cometidos por el Observador.

ii) En el segundo grupo están los errores de escala, nos referimos a errores de posición y localización del instrumento, y a

los errores debidos a la presencia del pluviómetro, pues su intrusión en la capa límite atmosférica produce interferencias con el entorno.

iii) En el tercer grupo nos encontramos con el problema de valorar estadísticamente la precipitación, y decir como de representativa es la precipitación registrada respecto de la "verdadera" precipitación en una superficie en torno al punto de medida.

3.- ERRORES INSTRUMENTALES.

Para superficies externas, comarcas, provincias, comunidades autónomas, etc, podemos afirmar que es virtualmente imposible obtener una medida precisa y exacta de la precipitación. Lo máximo que podemos esperar es una buena estimación de la misma en función de nuestra capacidad para evaluar las distintas fuentes de error.

Los errores instrumentales pueden ser eliminados, o reducidos aceptablemente, con un cuidadoso diseño de los aparatos de medida. Dentro de este grupo de errores destacaremos tres:

1º) Subestimación de la precipitación recogida debido a la evaporación. Esta evaporación del agua dentro del pluviómetro hay que tenerla en cuenta para todo el volumen de la precipitación medida, y es una consecuencia de que la acumulación de la precipitación durante grandes períodos, de un día o más, para su medida. Este error es el menos significativo del grupo.

2º) El retraso del agua al caer desde la superficie del embudo hasta el vaso recolector. Este retraso es particularmente importante en los pluviómetros diseñados para medir la intensidad de la precipitación, y puede llegar a ser en el inicio de la precipitación, tras un largo período seco y polvoriento, de más de diez minutos. Un problema añadido se produce cuando en tiempo seco llueve muy ligeramente, y el agua permanece en el embudo debido al polvo acumulado el tiempo suficiente para evaporarse, la precipitación recogida será entonces una subestimación de la precipitación real.

3º) Por último, un error de sobreestimación de la precipitación se produce por la condensación del vapor de agua en la superficie fría del embudo. Este proceso es especialmente intenso en climas, o zonas geográficas, con mucha humedad.

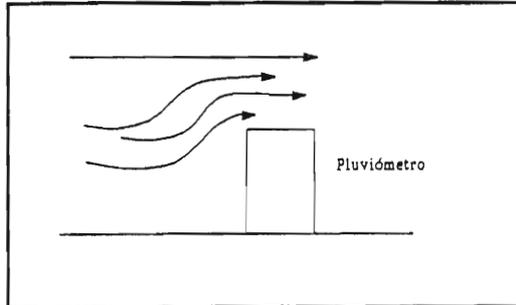


Fig. 1.- Desviación del flujo horizontal por el pluviómetro.

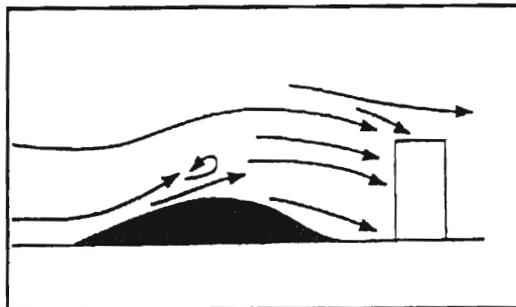


Fig.2.- Sobreexposición debida a un obstáculo.

4.- ERRORES DE LOCALIZACIÓN Y DE POSICIONAMIENTO

Uno de los mayores problemas que presenta la medida de la precipitación es la vieja cuestión: **¿Qué representatividad tiene un simple punto de medida, frente a la precipitación "verdadera" en su entorno?** Tratar de responderla nos conduce naturalmente hacia cálculos estadísticos, pero también nos permite considerar las características de la posición concreta del pluviómetro y de la localización de su entorno.

Impuestos por el entorno inmediato

del pluviómetro están los problemas de sombras y turbulencias locales. La medida del pluviómetro es una muestra extremadamente simple de la precipitación y es muy importante estar seguros, en la medida de lo posible, de que su posición no está sujeta a errores debidos a sombras de obstáculos, o a remolinos, creados por la proximidad de objetos o por el propio pluviómetro que se introduce en la capa límite atmosférica y puede distorsionar el campo de vientos locales y estar sobreexposición o al abrigo de la precipitación, como consecuencia de los obstáculos y los accidentes topográficos, tal y como se muestra en las figuras siguientes.

Cuantificar estos efectos sobre la precipitación recogida es muy difícil, pero no por eso podemos ignorarlos pues los errores debidos a la turbulencia y los remolinos pueden ser trascendentales. Estamos pues, ante un serio problema.

Los intentos que se han hecho para conocer y establecer el impacto que el tipo, la localización y el modo de exposición del pluviómetro causa sobre la cantidad de lluvia recogida, (Andersson, 1962); (Robinson y Rodda, 1969); (Green y Helliwell, 1972), entre otros, han mostrado que diferencias de precipitación del 7% pueden resultar de diferencias de velocidad del viento del 20 % alrededor del pluviómetro.

Es indiscutible que hay que alejarse de los obstáculos que puedan dar abrigo al pluviómetro, pero **¿Cuánto de lejos debe estar un obstáculo para poder tolerarlo?** No es fácil establecer reglas a este respecto pues no existe un criterio unánime. En "El Manual del Observador" de Jansá Guardiola, coincidiendo con otros autores, se recomienda que la distancia entre obstáculo y pluviómetro debe ser al menos la altura del obstáculo sobre la boca del pluviómetro. Parece aceptado que esta es la recomendación más usual, sin embargo la O.M.M. en su "Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación" (O.M.M. nº8) y el propio I.N.M. en la publicación C-17 I.N.M. "Instrucciones para la Observación en estaciones pluviométricas", aconsejan que esa distancia debe ser, al menos, el doble de la altura del obstáculo; el British Meteorological Office (1975), opina que el obstáculo más cercano no debe sustentar un ángulo mayor de 30 grados desde el orificio del pluviómetro; y otros autores como Sánchez Rodríguez, en la publicación B-28 I.N.M. "Instrumentos Meteorológicos", opinan que la relación entre la altura de los

obstáculos y la distancia al pluviómetro debe ser de 1/4.

Otra cuestión, también importante, es que la localización de un pluviómetro debe ser representativa del área local. Pero, desgraciadamente, esta no es la realidad sino que los pluviómetros suelen ser colocados en lugares seguros y donde la disponibilidad del observador determina.

El establecimiento de un nuevo pluviómetro dentro de una red debe tener en cuenta el relieve, la pendiente y el entorno, tres parámetros que se usan para definir los dominios espaciales de las redes de observación. Las redes pluviométricas pueden ser desarrolladas en base a dominios elementales, con un pluviómetro localizado al azar en cada dominio, contribuyendo con un área crítica mínima al área de estudio, de esta manera se construye un muestreo aleatorio estratificado para la precipitación.

Todos los problemas citados nos plantean numerosas cuestiones concernientes a la exactitud de la cantidad de precipitación recogida. Una evaluación de estos errores instrumentales fue realizada en el Laboratorio de Hidráulica, Hidrología y Glaciología de Zurich, por Sevrup, quién estimó los errores sistemáticos en la medida de la precipitación como siguen:

2 - 10 %, debidos a deformaciones del campo de viento sobre el pluviómetro, que en el caso de precipitaciones en forma de nieve serían del 10 - 50 %.

2 - 10 %, por mojado de paredes internas del colector y recipiente al vaciarlo.

0 - 4 %, por evaporación.

1 - 2 %, por salpicado de gotas desde dentro hacia fuera del pluviómetro.

Hasta ahora pocos son los Servicios Meteorológicos que han evaluado estas pérdidas y han aplicado las correcciones oportunas.

5.- ERRORES DERIVADOS DEL DISEÑO DEL PLUVIÓMETRO.

Un pluviómetro consiste

básicamente en un cilindro de sección recta conocida que ha de estar emplazado de modo que dicha sección esté rigurosamente horizontal.

La construcción actual de los pluviómetros es una respuesta a los factores discutidos anteriormente, a las necesidades hidrológicas, y las características climáticas de los diferentes países.

Estas consideraciones tienen como aspecto negativo que para un estudio climatológico de la precipitación en el que se utilicen datos provenientes de pluviómetros de distinta forma y tamaño, se deben tomar muchas precauciones con los datos, sobre todo cuando se intente trabajar con datos de varias redes nacionales.

Intentaremos especificar las características más relevantes de los pluviómetros usados por el I.N.M. Otros tipos usuales de pluviómetros son el inglés y el canadiense, muy parecidos al adoptado por el I.N.M., o el americano, algo más distinto a los anteriores.

El diseño del pluviómetro está pensado para su misión básica: evaluar la cantidad de agua precipitada en forma de lluvia, y así están diseñados la mayoría de los pluviómetros del mundo. Sin embargo, también se usan para medir la cantidad de precipitación en forma de nieve, de aquí que las contribuciones de formas sólidas a la precipitación total incrementen los problemas de la medida.

En zonas de montaña se instalan "pluviómetros de montaña", son análogos a los normales pero de mayor capacidad y de construcción más sólida. En el interior del depósito se vierten 4 kg de cloruro cálcico anhidro para evitar la congelación del agua recogida y 2 litros de aceite de parafina para evitar la evaporación. En las estaciones de nevadas frecuentes, es necesario situar dentro del cilindro receptor una cruceta, formada por dos láminas metálicas verticales, con el fin de evitar la pérdida de nieve del interior del pluviómetro por acción del viento. En estos pluviómetros de montaña, los errores debidos al estrechamiento de la boca por acumulación de nieve húmeda en el borde, pueden ser ocasionalmente importantes.

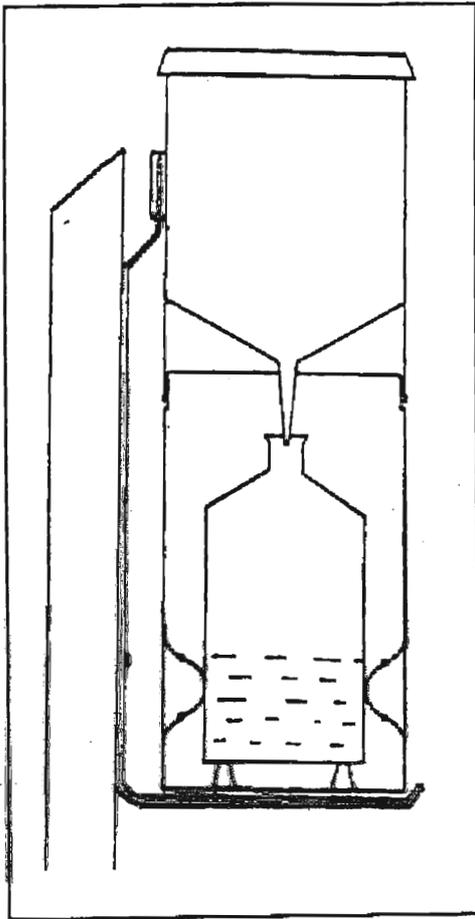


Fig.3.- Pluviómetro Hellmann.

Para evitar que las gotas de lluvia salgan rebotadas se diseña el pluviómetro con una holgada profundidad vertical, y además con la línea del embudo de gran pendiente. El embudo debe tener la boca estrecha y quedar protegido frente a la radiación para evitar pérdidas por evaporación.

El pluviómetro adoptado en España por el I.N.M., como modelo oficial de acuerdo con las estipulaciones de la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación de la O.M.M., es el modelo Hellmann, que consta de: Un vaso cilíndrico, cuyo borde delimita una superficie de captura de 200 cm^2 -unos 16 cm de diámetro-. Un embudo profundo que conduce el agua a otro recipiente cilíndrico, el colector o alcuza, de boca estrecha por la que penetra el tubo del embudo. De este modo, toda el agua recogida se conserva en el vaso colector, protegido de la evaporación por la estrechez de su boca y por el dispositivo de dobles paredes que resulta. Para garantizar la conservación del valor del área de captura elegido, se dota al pluviómetro de un anillo de

bronce o latón, de filo cortante y con su pared interna lisa y vertical, de este modo se procura la indeformidad del contorno del pluviómetro.

El pluviómetro se engancha a un poste de madera o metálico mediante unas grapas. La boca horizontal del pluviómetro debe quedar situada a 1.50 metros por encima del suelo. Pues aunque la O.M.M. recomienda como la altura más adecuada 30 cm en lugares no expuestos a grandes nevadas, no hay inconveniente en instalarlo a mayor altura. Con esta altura de 1.50 metros se intenta uniformar la comparación con otros países, pero aumentará la proporción de pérdidas por causa del viento.

Mucho más importante que las diferentes alturas de colocación, es evitar los remolinos de aire en las cercanías del pluviómetro. Para ello lo ideal sería instalar el pluviómetro en el centro de una empalizada circular de unos tres metros de diámetro, cuyas paredes fuesen verticales, mientras las exteriores descendiesen en talud muy suave, (véase la figura 3). El flujo del aire que circula,

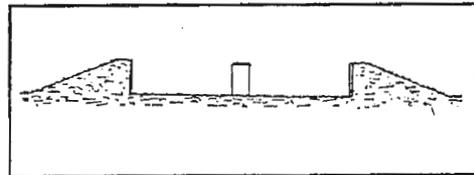


Fig. 4.- Pluviómetro dentro de una empalizada.

entonces, por encima de la boca se hace regular y tranquilo y el agua cae sin perturbación. La instalación sobre terrazas es siempre defectuosa, pues en sus bordes se forman muchos remolinos. En las localizaciones de frecuente viento fuerte es indispensable proteger el pluviómetro de los remolinos, si no se le puede instalar con toda perfección, conviene proveerle de una pantalla. La de Nipher es la más usual, es una pantalla de protección formada por una lámina de hierro en forma de tronco de cono que rodea la boca del pluviómetro, a una distancia aproximada de medio metro. Otro tipo de pantalla es la de Adler.

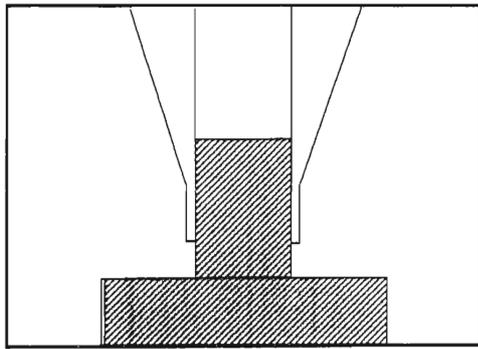


Fig.5.- Pantalla de Nipher

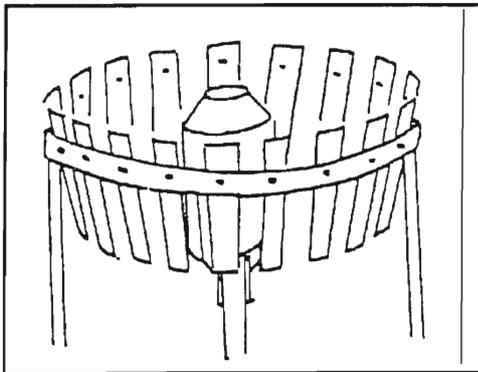


Fig.6.- Pantalla de Adler

La medida de la precipitación recogida se debe realizar vertiendo el agua de la alcuza en una probeta graduada. Ésta es una probeta especial que se ha diseñado, teniendo en cuenta la superficie de captación, para realizar con comodidad la lectura de la precipitación en décimas de mm, por lo tanto, sólo sirve para medir la lluvia recogida en un pluviómetro de 200 cm² de sección. Los valores medidos son los que corresponderían a una superficie de captación de 1 metro cuadrado.

6.- ERRORES DERIVADOS DEL DISEÑO DEL PLUVIÓGRAFO.

En lugares donde la mayoría de la precipitación es líquida, existe una separación elemental entre los pluviómetros diseñados para medir altura de precipitación y los diseñados para medir la intensidad de la

precipitación. Los primeros son simples y de lectura manual. Esta lectura se realiza diariamente, habitualmente de 08 a 08 horas (UTC). Lecturas más frecuentes, por ejemplo cada hora, son necesarias para determinar intensidades horarias, pero es un trabajo muy tedioso. Para medidas de intensidad de precipitación horarias, y en intervalos mucho más cortos, se usan los pluviógrafos, también llamados pluviómetros registradores o pluviómetros autográficos.

Los tipos de pluviógrafos más comunes son:

- con flotador.
- con flotador y sifón automático.
- de peso o gravímetros.
- basculante o de balancín.
- combinados.

La misión de los pluviógrafos es dar información del tiempo en el que ocurrió la precipitación, proporcionando un dibujo detallado de cuando ocurrió la precipitación y de como fue de intensa. No informan de la cantidad de la precipitación recogida, aunque es factible obtener esta información ayudándose de correcciones que resultan de la comparación con el pluviómetro.

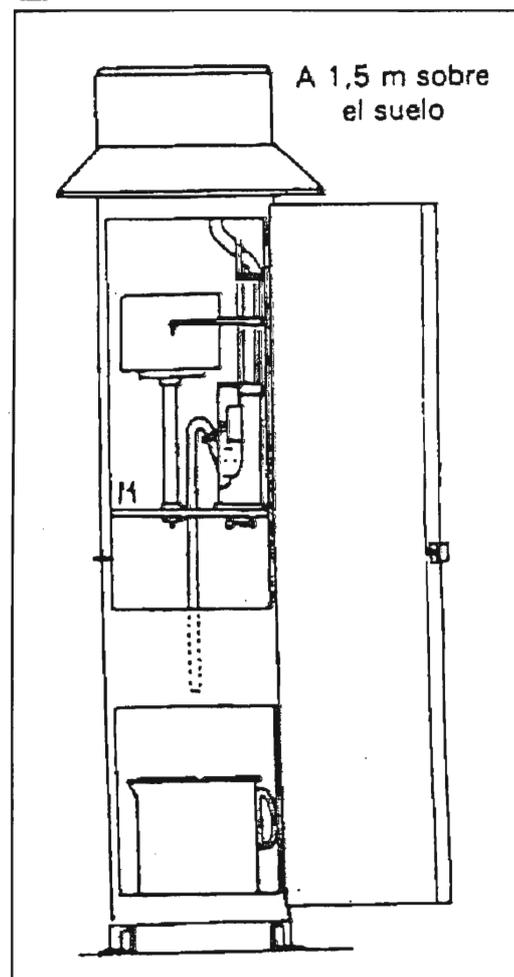


Fig.7.- Pluviógrafo de Hellmann.

En España, el I.N.M., ha adoptado un pluviógrafo con flotador y sifón automático, cuya captación pluviométrica está de acuerdo con el modelo pluviométrico de Hellmann. Este pluviógrafo de sifón consta de un depósito cilíndrico que recibe, a través de un tubo de goma, el agua recogida por un embudo exterior de 200 cm² de sección. Dentro del depósito se encuentra un flotador prolongado por una varilla vertical, la cual soporta directamente el brazo de la plumilla inscriptora. A medida que el depósito se llena el flotador va subiendo, y la plumilla con él. Casi desde el fondo del depósito sale un tubo curvado en forma de sifón, cuya rama ascendente llega justo al nivel más alto del depósito que se quiere alcanzar, y que se hace corresponder con una cantidad de lluvia de 10 mm. Cuando el agua del depósito alcanza dicho nivel el sifón queda cebado y se vacía completamente. Si entonces sigue lloviendo, vuelve a empezar de nuevo la subida. La capacidad total del equipo es de 200 cm³.

La curva obtenida en este registrador tiene forma de zig-zag, las ramas ascendentes son curvas e inclinadas, las descendentes son rectas y verticales. Para medir la lluvia solamente hay que tener en cuenta las ramas ascendentes. El agua salida del depósito cae a un recipiente que permite comprobar, por medio de una medida directa con la probeta graduada, la cantidad total de precipitación recogida. El vaciado de agua se realiza hasta el nivel "cero", que si se precisara corregir se puede hacer fácilmente mediante el tornillo de sujeción del brazo de la plumilla. Por otra parte, si fuese necesario modificar la amplitud de la escala gráfica de una descarga, correspondiente a diez litros, bastaría con desplazar la altura del sifón colocado lateralmente en el flotador mediante un collarín.

Según el tipo de tambor y el aparato de relojería, existen varios tipos de pluviógrafos: diarios, semanales y mensuales, en los cuales varía el tipo de bandas y el tiempo que tarda en recorrer la banda la plumilla registradora.

Como principales inconvenientes de los pluviógrafos podemos citar:

1.-El orificio del embudo puede cegarse, con la nieve o con las hojas de los árboles, por lo que son muy importantes la

limpieza y el mantenimiento.

2.- El flotador resultará dañado si se hiela el agua. Para evitar esto, en lugares con climas fríos, se instala en los pluviógrafos un sistema de calefacción accionada por termostato, o se dispone de otro tipo de pluviógrafos, por ejemplo de balancín.

7.- REPRESENTATIVIDAD Y DISEÑO DE REDES.

Si suponemos que hemos "resuelto" los problemas de posicionamiento y localización, de diseño eficiente del instrumento y de exactitud instrumental, las cuestiones que permanecen aún sin resolver son:

1ª.- **¿Cómo representa lo medido en un pluviómetro la precipitación de su entorno?**

2º.- **¿Qué valor mínimo, de densidad de pluviómetros, es suficiente para una estimación realista de la distribución espacial de la precipitación o del volumen total de precipitación recogida?**

El origen de la primera cuestión está en el hecho de que el pluviómetro es una simple muestra puntual de la precipitación real, y la realidad de la medida de la precipitación es, a veces, cuestionada debido al tamaño excesivamente pequeño de la muestra usada. Por ejemplo, la red pluviométrica en Extremadura consta de aproximadamente 264 estaciones para una región de 41.602 km², de lo que resulta una distribución media de 158 km² por cada pluviómetro (la O.M.M. recomienda para zonas mediterráneas y tropicales entre 250 y 2000 km² por pluviómetro). Teniendo en cuenta que el área estándar de la boca del pluviómetro es de 200 cm², la muestra total para Extremadura es de 5.28 m², que representa el 1.27 10⁻⁸ % de la superficie total. Así pues, uno de los mayores problemas que encontramos es determinar como de representativos son los datos de cada pluviómetro.

En la mayoría de los países la red pluviométrica está en manos de colaboradores u observadores voluntarios. Es evidente que donde potencialmente hay más observadores es en los mayores centros de población y en las tierras bajas, y que es difícil encontrarlos en áreas poco pobladas.

Por tanto, tenemos que la distribución de pluviómetros está sesgada hacia las zonas más pobladas, en donde las redes suelen ser más densas y en cambio en zonas montañosas y remotas, las redes son menos densas y más dispersas.

Para responder a la segunda cuestión, sobre el valor mínimo de la densidad de pluviómetros, es necesario encontrar un medio de valorar qué densidad de red deberíamos adoptar y como ésta debería ser distribuida.

Cuanto más breve y aislada sea la precipitación que estemos considerando, más fina debe ser nuestra red pluviométrica. Para precipitaciones continuas podemos considerar redes más dispersas, pero entonces, las localizaciones deben elegirse cuidadosamente para que los puntos sean representativos. La densidad exacta requerida variará en función de la duración de la precipitación que estemos estudiando y del área geográfica considerada.

En un estudio realizado para el sureste de California, (Osborn & Lane, 1972) sugirieron que para estudiar precipitaciones procedentes de tormentas, la distribución óptima de pluviómetros debería de ser de uno cada 2.4 km, mientras que para estudios de agua recogida en cuencas y subcuencas fluviales la distribución necesaria sería de un pluviómetro cada 25 km o más.

Un camino para determinar el mínima densidad requerida es adoptar una red aproximadamente ideal, estudiar su comportamiento para un período concreto, días, meses o años, y calcular los coeficientes de correlación entre todos los pluviómetros. De esta manera pueden construirse distintas redes pluviométricas con densidad ideal para distintos propósitos.

8.- MEDIDAS REALIZADAS CON RADARES Y SATÉLITES.

Los sistemas de teledetección - radares y satélites- constituyen una clase muy diferenciada del resto de los instrumentos meteorológicos. Sus características hacen que se puedan superar, o aliviar en parte, algunos de los problemas expuestos anteriormente, sobre todo los relativos a localización, posicionamiento, y representatividad de redes de observación en

tierra.

Entre las principales ventajas que tiene el estimar medidas de la precipitación con satélites y radares frente a los anteriores métodos descritos destacamos:

a) La capacidad de exploración remota y tridimensional de amplias regiones sin la necesidad de mantener una densa red de equipos.

b) La rapidez de captura de estos datos, estos sistemas pueden suministrar millones de datos en poco tiempo.

c) El suministro continuo de imágenes casi en tiempo real, que permite una continua vigilancia meteorológica.

Entre sus inconvenientes más graves resaltamos dos:

a) La dificultad para calibrar las medidas, pues éstas deben ser calibradas con precipitación "real", es decir, precipitación medida en superficie con los problemas ya comentados que esto supone.

b) El promediado espacial de la medida al tamaño del píxel, aunque para ciertos aspectos este promediado espacial puede considerarse una ventaja.

La meteorología explota desde hace tiempo las buenas cualidades de estos sistemas y hace uso del radar y del satélite en tareas de predicción y vigilancia, en observación de vientos, de temperatura del agua del mar, de índices de aridez y de cultivos, en climatología y/o clasificaciones de nubes, etc.

En algunos campos, como la hidrología por ejemplo, en donde el producto básico de trabajo es la precipitación en superficie, que debe inferirse a partir de las medidas tomadas en altura, que hay que ser muy estrictos con el error de la medida, acotando los errores que se producen en estas medidas de radar y satélite, y complementando estas tareas con la inclusión de datos procedentes de instrumentos convencionales, se ha comprobado que los modelos de predicción de avenidas, dan mejor resultado usando datos radar y satélite calibrados con una pequeña red de telemetría pluviométrica, que cuando se usan sólo datos de una red pluviométrica convencional,

mucho más densa y más costosa que el sistema mixto anterior.

Varios autores, (Ferguson, 1973) y (Peck, 1980) entre otros, han sugerido que una eficiente y efectiva integración de redes pluviométricas dispersas de gran escala y redes más densas de escala pequeña, con datos radar y datos de satélite, puede perfeccionar el nivel de detalle en áreas con poca o nula cobertura, e incluso llegar a ser de uso general.

Por tanto, parece viable que el uso de radares y satélites, en combinación con pluviómetros y otros equipos convencionales, y junto a una cuidadosa corrección de errores, pueda ofrecernos, en un futuro no muy lejano, mayor fiabilidad en las estimaciones de la precipitación.

BIBLIOGRAFÍA.

Andersson, T. (1962). On the accuracy of rain measurements and statistical results from rain studies with dense networks (Project Pluvius). *Arkiv fur Geofysik*, **4**(13), 307-332.

Battan, Lj. (1973). Radar Observation of the atmosphere. *University of Chicago Press*.

Ferguson, H.L. (1973). Precipitation network design in mountainous areas. *In Proc. Geilo Symp.*, vol. II, O.M.M., 85-110.

Graham Summer. (1988). Precipitation: Process and Analysis. *Editorial Wiley*.

Green, M.J., & Helliwell, P.R. (1972). The effect of wind on the rainfall. *Symposium on Distribution of Precipitation in Mountainous Areas*, Geilo, Norway. vol. 2, 27-46.

Instituto Nacional de Meteorología, (1989). Instrucciones para los Observadores de estaciones pluviométricas. *I.N.M.* Madrid, Publicación C-17.

Instituto Nacional de Meteorología, (1988). Instrucciones para el uso, instalación y mantenimiento de aparatos meteorológicos. *I.N.M.* Madrid. Publicación C-46.

Jansá Guardiola, J.M. (1985). Manual del Observador de Meteorología. *Instituto*

Nacional de Meteorología, Publicación B-12.

Meteorological Office (1981). Observer's Handbook, *HMSO*. London.

Organización Meteorológica Mundial. (1983). Guía de instrumentos meteorológicos y métodos de Observación. *O.M.M.* Ginebra, Publicación nº8.

Osborn, H.B., & Lane, L.J. (1972). Optimizing of thunderstorm rainfall in southeastern Arizona. *Water Resources Research*, **8**(1), 259-265

Peck, E.L. (1980). Design of precipitation networks. *Bulletin American Meteorological Society*, **61**(5). 849-902.

Robinson, A.C., & Rodda, J.C. (1969). Rain, wind and the aerodynamic characteristics of rain gauges. *Meteorological Magazine*, **98**, 113-120.

Rodda, J.C. (1967). The systematic error in rainfall measurements. *Journal Institute Water Engineers.*, **21**, 173-177.

Sánchez Rodríguez, J. (1990). Instrumentos Meteorológicos. *I.N.M.*, Madrid. Publicación B-29.

Wilson, J.W. y Brandes, E.A. (1979). Radar Measurement of rainfall. *Bulletin American Meteorological Society*, vol 60, nº9 Sept 1979.