D 1291
C1

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

DIRECCION DE RIEGO

SECCION HIDROMETRIA

NORMAS PARA LA INSTALACION DE PLUVIOMETROS

Y

MEDIDA DE LA LLUVIA

BIBLIOTECA IREN

NORMAS PARA LA INSTALACION DEL PLUVIOMETRO

a) Seleccionar un lugar accesible y representativo de la localidad de manera que no quede demasiado pxóximo a colinas abruptas ni a edificios altos y que no se encuentre en la vecindad inmediata a muros, cercos, grandes árboles etc. Tambien debe evitarse instalar el pluviómetro cerca de las crestas de las montañas.-

b) Cuando no sea posible evitar objetos aislados, notablemente más altos que el pluviómetro, la exposición se considerará como buena cuando pueda lograrse que la distancia del pluviómetro al obstáculo más cercano sea al menos igual al doble de la altura del obstáculo sobre el aparato. Cuando la condición anterior no pueda cumplirse, la exposición solo se podrá considerar como aceptable, siempre que la distancia, no sea inferior a la altura del obstáculo, y siempre y cuando el número de obstáculos, situados a dicha distancias, sea reducido; en caso contrario o en el de haber obstáculos a distancias menores, las condiciones de exposición serán inaceptables.-

c) Respecto a los obstáculos pequeños, cuyas altura supere en poco a la del pluviómetro, deberá procurarse que queden a unos 4 o 5 metros del pluviómetro.-

d) Las instalaciones en los bosques deberán hacerse en claros, de manera que cuando la masa arbórea que rodea al pluviómetro tenga una altura uniforme, pueda fijarse como límite inferior de la distancia, entre el pluviómetro y los árboles, una distancia igual a la mitad de la alturara de los árboles sobre el instrumento, debiendo contarse dicha distancia desde el pluviómetro al extremo de las ramas más próximas.(no al tronco) Cuando más irregular sea la altura y distribución de los árboles alrededor del pluviómetro, mayor tendrá que ser la distancia mínima que se fije hasta llegar, en el caso extremo a tener que aplicar la regla b).-

e) El interior de patios cerrados, huertos, valladares cerrados, etc., suelen ofrecer, conjuntamente con el caso señalado de claros en bosques uniformes, las mejores condiciones de exposición de pluviómetros siempre que se cumpla con la mencionada regla general de que la altura del obsjeto en cuestión sobre el pluviómetro no exceda del doble de su distancia al pluviómetro aproximadamente.-

f) Los tejados y azoteas constituyen en general, exposiciones muy malas por lo que deberá evitarse instalar pluviómetros en los mismos, pero cuando no queda otra solución, la elección del lugar, se hará procurando en lo posible, el que los tejados y azoteas vecinos no pueda imprimir facilmente al viento movimientos importantes ascendentes que podrían reducir considerablemente las medidas de agua caída.-

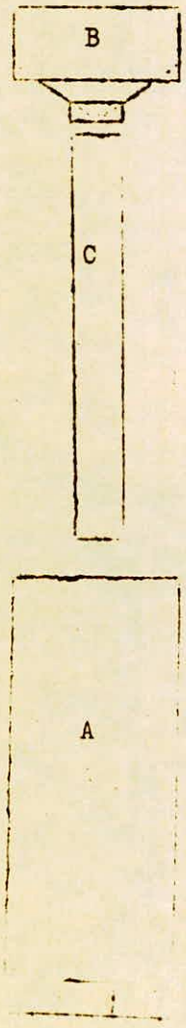
g) Como una instalación, buena en un principio, puede ser modificada desfavorablemente, por el crecimiento de los árboles, arbustos vecinos o por otros cambios, deberá el observador tomar muy en cuenta estos obstáculos, dando aviso inmediato al Jefe de Hidrometría, de todas las

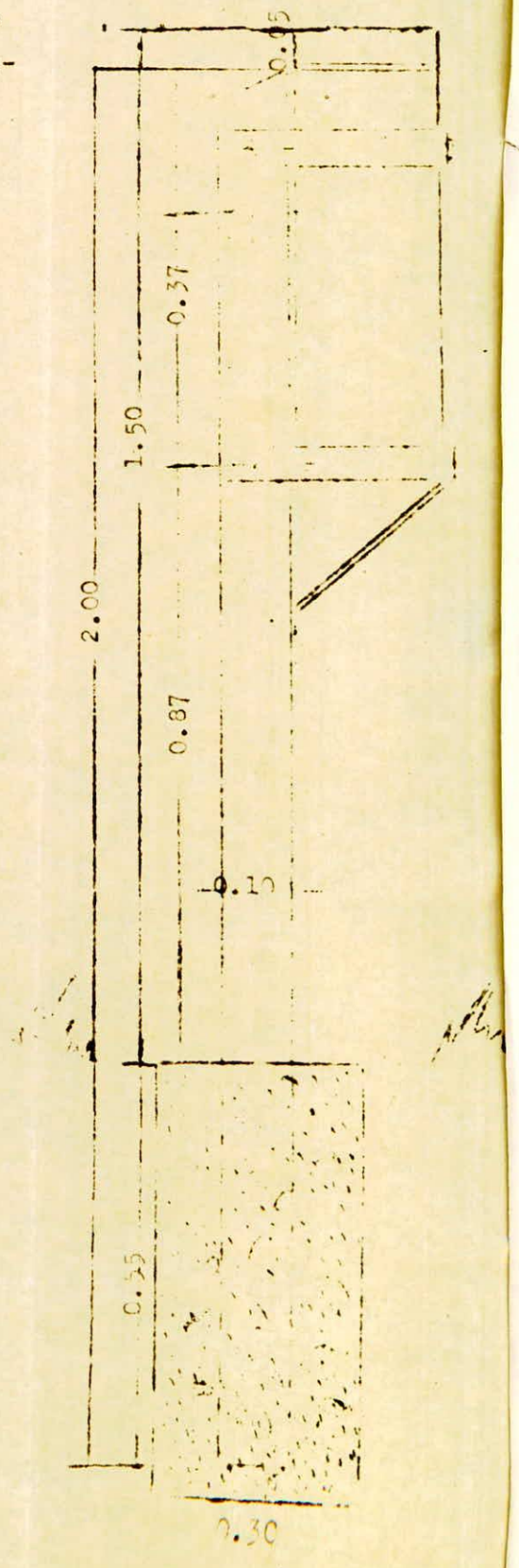
modificaciones que se hicieren en las cercanías del pluviómetro.-

INSTALACION DEL PLUVIOMETRO

Para la instalación del pluviómetro, cuya boca quedará a 1,50 m. sobre el suelo, se entierran 55 centímetros de un poste de 2 metros de largo y de 4 x 4". orientando sus lados según los puntos cardinales. Teniendo cuidado que el pluviómetro quede al lado sur del poste y que la parte superior quede perfectamente horizontal y a un metro cincuenta de la superficie del suelo. El extremo superior del poste debe quedar a 5 centímetros por debajo de la superficie receptora del pluviómetro, para que no puedan salpicar contra él, el granizo o la lluvia.-

Se recomienda para su mayor duración, emplear maderas de roble o encina y alquitranar el extremo inferior del poste para que no se pudra por efectos de la humedad del suelo.- Ver fig.





MEDIDA DE LA LLUVIA

Para medir la cantidad de agua llovida, se destapa el pluviómetro, (Tapa B) y se introduce dentro del colector C la regla graduada que va con el pluviómetro, hasta tocar el fondo.-

Se saca enseguida y sin demora la regla, para ver sobre que número queda la marca que ha dejado el nivel de agua.-

Esta regla está graduada de medio en medio milímetro,(0,5 mm.) de tal modo que el espacio comprendido entre raya y raya es de 0,5 mm,(medio milímetro).Los milímetros enteros estan indicados por las lineas largas, siendo su graduación total de 50 mm. (cincuenta milímetros).-

Asi por ejemplo al introducir la regla en el colector C y una vez que haya topado el fondo, si la marca queda en el número 15, significa que han llovido 15 milímetros. Si la marca del nivel del agua queda entre dos rayas, la lectura debe aproximarse a la más cercana siempre que el observador no pueda apreciar en forma exacta la altura alcanzada al décimo de milímetro.-

Una vez hecha la medida, se bota el agua del colector C, y se tapa nuevamente el pluviómetro.-

En las lluvias copiosas y prolongadas, se recomienda tener cuidado que no se vaya a llenar el colector C, y rebalse agua, por lo tanto, el observador estará atento y si es necesario, deberá hacer dos medidiones de lluvia en el día, cuidando de no botar el agua inmediatamente, sino vaciarla en otro recipiente mayor, para comprobar la medida en caso de duda.

La lluvia total del día es la suma de las lluvias medidas.-

En caso que al medir el agua caída se encuentra que parte de ella ha rebalsado en el depósito A, la medida se hará en la siguiente forma: Se empieza por vaciar el colector C, que se ha encontrado lleno y en seguida se llena y se vuelve a vaciar cuantas veces sea necesario hasta agotar el agua que había en el pluviómetro. (tarro A) Al final quedará un resto que no alcanzará para llenar el colector C, y entonces se medirá dicho resto con la regla en la misma forma que se dijo más arriba.-

A la cantidad que haya medido último con la regla, se le agregarán 52 milímetros, por cada colector C lleno que haya salido en la medida.Por ejemplo, si al destapar el pluviómetro se ha encontrado el colector C lleno y además agua dentro del tarro A, se anotarán 52 milímetros correspondientes a ese colector lleno. Se bota entonces el agua del colector C y se vuelve a llenar con la que hay en el tarro A. Se anotan otros 52 milímetros y se vuelve a botar el agua; supongamos queésta vez el agua que queda en el tarro A, no alcance a llenar el colector se mide entonces con la regla y se encuentra la marca de agua en el número 9, la cantidad de lluvia que hay anotar es entonces:

52 mm. por el primer colector que se encuentra lleno.-
52 mm. por la primera vez que se llenó el colector con el agua que había en el pluviómetro (tarro A), y 9 mm. medidos con la regla, o sea en total.-

52 + 52 + 9 = 113 mm. de lluvia.-

Después de una caída de nieve, granizo o pedrísco, en caso que todavia no se haya transformado en agua, el observador deberá cambiar el colector A, cuando posea otro, y llevarlo a una habitación, pero no aproximarlo al fuego para evitar la evaporación en lo posible.-

El agua obstenida por derretimiento completo de la nieve, etc. debemedirse en seguida como se ha indicado para el agua caída.-

En caso de no tener otro colector, se debe esperar a que se derrita sola y después se procede a medirla.-

El pluviómetro, como tambien la regla, en los que se acumula muchas veces polvo y otras impurezas, deben limpiarse de cuando en cuando con todo cuidado.-

REGISTRO DE LAS LLUVIAS

Para las anotaciones de las lluvias se usa la libreta " Estado de Lluvias " la cual consta de tres columnas: 1) para el agua caída, 2) estado del tiempo, 3) observaciones. En la primera columna se coloca el agua caída en 24 horas, en la segunda se anotarán todos los fenómenos como ser: lluvia, temporal, nieve, nublados, despejado, etc,, y en la tercera columna se anotará la hora en que empezó a llover, la hora en que terminó.-

Se considera como días de agua caída, todos aquellos en que la precipitación, alcance por lo menos a un décimo de milímetro, sea por la lluvia, garúa, granizo, pedrísco etc.-

La cantidad de agua caída debe anotarse en la libreta en el día en que se mide el agua.- (a las 8 horas de la mañana)

Para hacer las anotaciones en los estados de lluvia, debe usarse el cero, ya sea en las décimas y los enteros, para no cometer errores en las interpretaciones.En el siguiente ejemplo, se indica como hacer las anotaciones.-

EJEMPLOS DE ANOTACIONES

Agua caída y medida: 18 mm. y 6 décimas de milímetros;	se anotará		18,6
Agua caída y medida: 224 mm. y 5 décimas de milímetros;	"	"	224,5
Agua caída y medida: 8 décimas de milímetros;	"	"	0,8
Agua caída y medida: 1 décima de milímetro ;	"	"	0,1
Agua inapreciable(llovió muy poca cantidad no medible	"	"	0,0
Días sin lluvias	"	"	—

Si no se hubieren efectuado observaciones durante algunos días, por causa muy justificada, mídase el agua acumulada en el colector A en esos días, y se anotará indicando que el agua caída corresponde a ese período, en que no hizo observación.-

La hoja " Estado de lluvias ", se mandará aunque no llueva durante el mes, pués la falta de lluvias tambien corresponde a la observación.-

El observador debe dejar en su poder la libreta de "Estado de lluvia" con el original de las observaciones que se envían, ya que es frecuente el extravío de estos datos.-

Las anotaciones hechas en la libreta de "Estado de lluvia" se pasarán mensualmente a la hoja" Estado de Lluvia ", que se enviará a la Oficina en Santiago a;

Ministerio de Obras Públicas
Dirección de Riego
Sección Hidrometría Santiago.-

DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS

DIRECCION DE RIEGO

SECCION HIDROMETRIA

PLUVIOMETRIA

PLUVIOMETRIA

INSTRUCCIONES PARA OBSERVADORES DE ESTACIONES PLUVIOMETRICAS

X

DIRECCION DE RIEGO
SECCION HIDROMETRIA
PLUVIOMETRIA

Nº 1

OBSERVACIONES PLUVIOMETRICAS

El objeto de una estación pluviometrica es contribuir al estudio del clima de la región en que está ubicado, entregando la medida de la cantidad de agua, que en forma de lluvia, nieve, granizo, etc., recibe la tierra en el lugar de la observación, agua que llamaremos Precipitación.-

PLUVIOMETRO.- (Fig.1.-) El aparato para medir la cantidad de lluvia caída durante un tiempo determinado, se llama Pluviometro.-

Consiste en un recipiente cilindrico (forma de tubo) a), en un receptor b) cuyo fondo tiene forma de embudo y un tubo colector c).- El receptor se coloca en la parte superior del recipiente en cuyo interior está instalado el colector, cuya boca queda ajustada a la parte de abajo del receptor.- La superficie de la boca del colector es exactamente la décima parte de la superficie de la boca del receptor.-

El colector destinado a conservar el agua recogida, está protegido para evitar la evaporación de agua acumulada, por la doble pared de c) y a) y por la estrechez de la parte angosta del embudo del receptor.-

INSTALACION DEL PLUVIOMETRO.- El pluviómetro debe colocarse en un sitio en que la lluvia, aunque caiga muy inclinada a consecuencia de un fuerte viento, recoja en él la cantidad exacta.-

Los edificios, murallas, árboles, etc., deben estar a alguna distancia del pluviómetro que, por lo menos equivalga al doble de la altura del obstáculo.- Ejemplo.- Si un edificio mide 4 mts. de altura, el pluviómetro debe quedar instalado a 8 mts. de distancia como mínimo.-

Tampoco es aconsejable instalar el pluviómetro en un campo abierto, porque quedaría muy expuesto a la influencia perturbadora del viento, debe evitarse instalar pluviómetros en alturas considerables, como torres, techos, azoteas, etc..- Una mala colocación puede hacer inútiles buenas observaciones.-

Para la instalación de un pluviómetro se entierran 60 cms. de un poste de 2 mts. de largo y de 4 x 4 pulgadas de espesor, en la parte superior del poste se atornillan las abrazaderas de tal modo que la superficie superior del pluviómetro quede perfectamente horizontal y a 1,50 mts. de la superficie del suelo (Fig. 2.-) El extremo superior del poste debe ser cortado a 45° y debe quedar a 10 cms. por debajo de la boca del pluviómetro, para evitar que la lluvia o granizo pueda salpicar dentro del receptor y nos dé una medida equivocada.-

FORMA DE EFECTUAR LA MEDISION.- Para medir la cantidad de precipitación se quita el receptor y se introduce la regla dentro del colector con el extremo cero tocando el fondo, después de 3 ó 4 segundos se retira la regla y se observa hasta donde llega la parte mojada, 1º Si esta parte mojada coincide con un número que puede ser 10, significa que la precipitación ha sido de 10,0 mm. (milimetros).- 2º Si el nivel mojado ha quedado entre el número 10 y 11 y justo encima de la raya más corta significa que han llovido 10,5 mm.(milimetros) 3º Y por último si el nivel mojado queda entre una raya larga y una corta y el número próximo a la raya larga es 10, la precipitación es de 10,0 mm. y décimas que se deben aproximar, pudiendo ser 10,1; 10,2; 10,3; 10,4 según sea el caso, o bien puede quedar entre la linea corta que está antes del número 10, lo que daría una lectura de 9,6; 9,7; 9,8; ó 9,9.- Fig. 3.-

La regla está graduada de medio en medio milimetro, así el espacio marcado entre raya y raya es de 0,5 mm. (medio milimetro).- Los milimetros enteros están indicados por las lineas largas, siendo el total de la regla de 50,0 mm. (cincuenta milimetros) Fig.- 4.-

Una vez efectuada la medida se bota el agua del colector c) y se tapa nuevamente con el receptor b).-

Cuando se destape el pluviometro para hacer la medida y se vea que el tubo colector a rebalsado y parte del agua ha caido en el recipiente de afuera, la medida se hará en la forma siguiente:

Se empieza por vaciar el colector c), que se ha encontrado lleno y en seguida se llena y se vuelva a vaciar las veces que sea necesarió hasta agotar el agua que se había vertido en el recipiente a) al final posiblemente quedará un resto que no alcanzará a llenar el colector c) entonces se medirá dicho resto con la regla en la forma explicada más arriba.-

Para obtener la precipitación total se sumarán todas las medidas hechas.- Por ejemplo: El colector se ha llenado tres veces y la última medida es de 17,5 milimetros, la cantidad de agua caída es de: 52,0 + 52,0 + 52,0 + 17,5 = 173,5 m/m. de lluvia.

o o o o o o o o o o o o

Después de una caída de nieve, granizo o pedrisco, en caso que a la hora de la medición no se haya transformado en agua, el observador cambiará el colector, en caso tener uno de repuesto debe llevarlo a una habitación sin aproximarlo al fuego para evitar la evaporación.- El agua obtenida por este derretimiento de la nieve, pedrisco ó granizo deberá medirse en seguida como se ha indicado para el agua caída.- En caso no tener otro colector, deberá esperar a que se derrita por si sola y después proceder a medirla.-

REGISTRO DE LAS LLUVIAS.-

Para anotar las precipitaciones, a cada estación Pluviométrica se le entregará una libreta "Estado de lluvias" que consta de 3 columnas.

1º.- Se anotará el agua caída. 2.º Estado del tiempo se anotarán todos los fenómenos como ser: lluvia, nieve, granizo, temporal, nublado, despejado, chubascos, niebla, temblor.-

Se considera como día de agua caída, a aquellos en que la precipitación alcance por lo menos a una décima de milímetro (0,1 m/m).

La observación debe efectuarse a las 8 de la mañana y deberá anotarse el día en que se mide el agua caída.

EJEMPLO DE ANOTACIONES .-

Agua medida	18 m/m y 6 décimas de m/m	=	18,6	m/m
Agua medida	224 m/m y 5 décimas de m/m	=	224,5	m/m
Agua medida	8 décimas de m/m	=	0,8	m/m
Agua medida	10 m/m	=	10,0	m/m
Agua medida	1 décima de m/m	=	0,1	m/m
Agua medida	inferior a 1 décima de m/m	=	0,0	m/m

Si no se hace la observación en uno o varios días por motivos de suma gravedad, mídase el agua caída acumulada en el colector y anótese en la libreta indicando que el agua caída corresponde a los días en que no se hizo observación. La hoja "Estado de lluvias", se mandará aunque no llueva durante todo el mes, pues la falta de lluvias también corresponde a observaciones , especialmente para las estaciones del norte.-

El observador debe dejar en su poder la libreta "Estado de lluvias" con las anotaciones ya que la "hoja estado de lluvias" puede extraviarse. El observador deberá enviar mensualmente esta hoja el día 1º de cada mes sin excepción a:

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION DE RIEGO
SECCION HIDROMETRIA
SANTIAGO.-

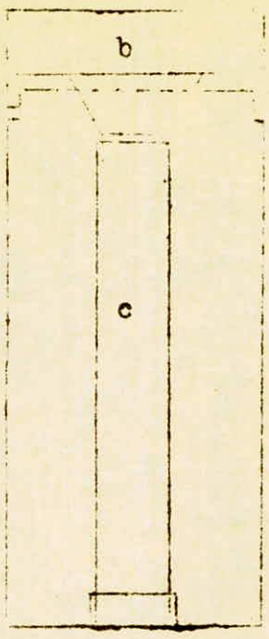


Fig. 1.-

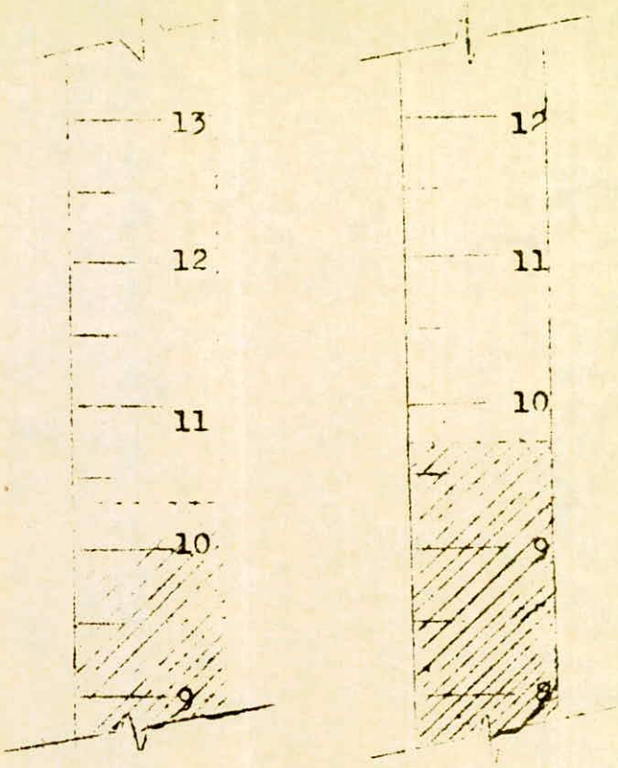


Figura 3.-

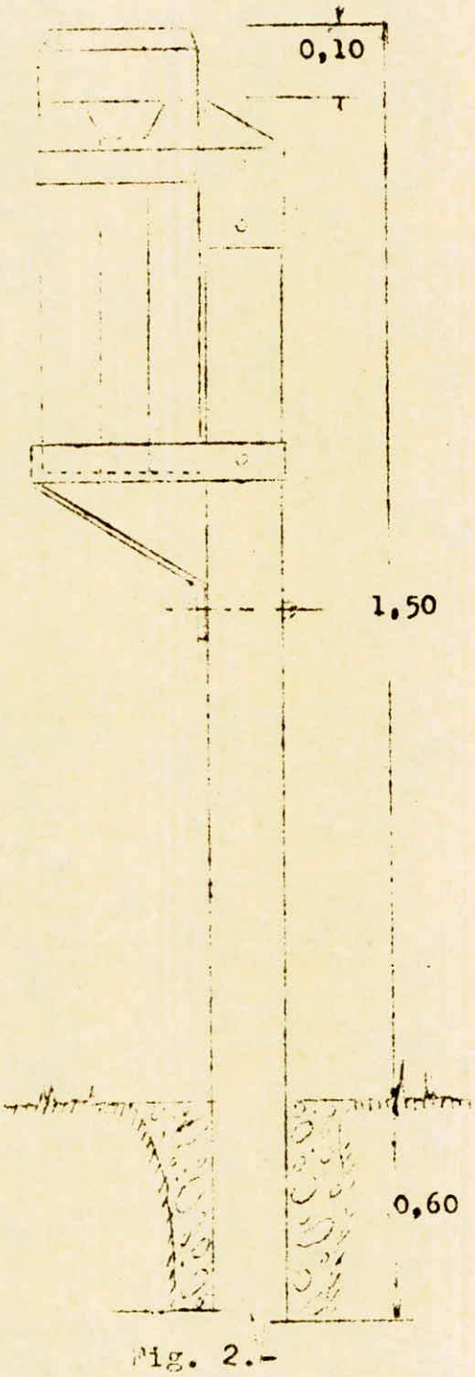


Fig. 2.-

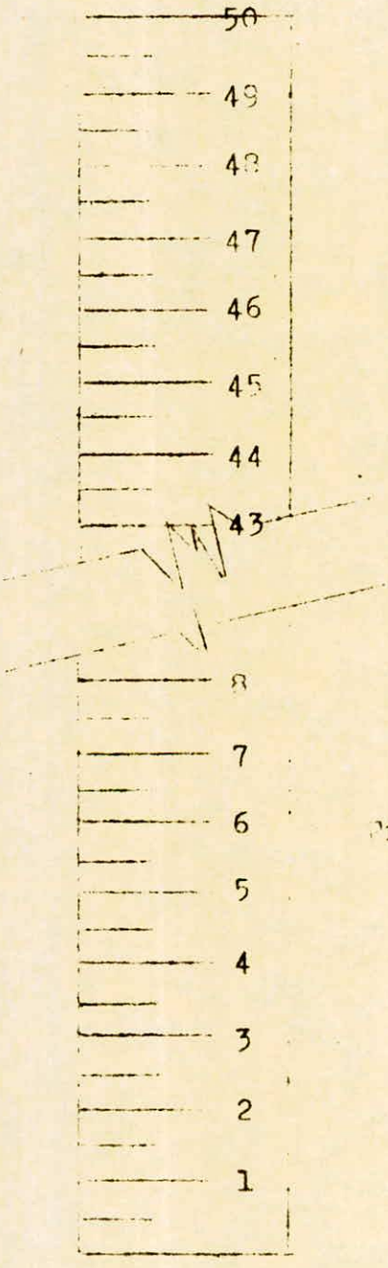


Fig. 4.-

ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL

COMISION TECNICA DE HIDROMETEOROLOGIA

GUIA PARA LAS PRACTICAS HIDROMETEOROLOGICAS

CAPITULO 2

INSTRUMENTOS Y METODOS DE OBSERVACION

2.1 PRECIPITACIONES.

(Gran parte de estos datos se han extraído de la "Guide to Meteorological Instruments and Observing Practices", OMM N°8 TR 3.)

2.1.1 CONDICIONES GENERALES.

El volumen total de las precipitaciones que llegan al suelo durante un período determinado se expresa en función del nivel que alcanzarían sobre una proyección horizontal de la superficie de la tierra si no hubiera pérdidas por evaporación o por derrame, y a condición de que se licuen todas las precipitaciones en forma de nieve o de hielo. Las nevadas se miden también en función del espesor de nieve fresca que cubre una superficie plana y horizontal. El objetivo principal de cualquier método de medición de las precipitaciones deberá consistir en obtener una muestra que sea verdaderamente representativa de la precipitación en la zona a que se refiere la medición. En hidrometeorología, es importantísimo medir las precipitaciones en un sentido absoluto. En consecuencia, es muy importante que se tenga en cuenta la elección de la ubicación, y la forma y la exposición del pluviómetro, y que se tomen medidas para impedir las pérdidas por evaporación y los efectos del viento y de las salpicaduras. El conjunto de la precipitación es la suma de los volúmenes de las precipitaciones en forma líquida y del equivalente líquido de las precipitaciones sólidas.

En una exposición ideal, el agua recogida en un pluviómetro representará exactamente las precipitaciones que se hayan producido en la zona circundante. Esta exposición ideal es, sin embargo, difícil de lograr en la práctica, debido a los efectos del viento, por lo que habrá que prestar gran atención a la elección del emplazamiento. Los efectos del viento pueden considerarse desde dos puntos de vista:

a) Efectos sobre el propio instrumento;

b) Efectos de la ubicación sobre la trayectoria del viento.

El resultado de a) es, generalmente, reducir la cantidad de agua recogida. En cuanto a los efectos de la ubicación b), son a menudo más importantes y pueden dar lugar tanto a excesos como a defectos; la reducción de las precipitaciones en un lugar dado debe tener como consecuencia su aumento en otro lugar. Conviene señalar que las perturbaciones creadas por los obstáculos son función de la relación entre sus dimensiones lineales y la velocidad de caída de la precipitación. Este efecto se reduce, aunque no se suprima enteramente, (1) eligiendo la ubicación de modo que la velocidad del viento al nivel de la boca del pluviómetro sea lo más reducida posible, pero sin que, al mismo tiempo, la lluvia sea detenida por objetos circundantes, y/o (2) modificando los alrededores del pluviómetro, a fin de que el flujo de aire que pase sobre la boca de éste sea exactamente horizontal. Es conveniente que todos los pluviómetros de una región o país tengan exposiciones comparables y que se apliquen a todos ellos los mismos criterios.

Siempre que sea posible, el pluviómetro debiera exponerse con su boca en posición horizontal sobre un terreno llano, y la distancia a que se halle de los objetos circundantes no debiera ser inferior a cuatro veces la altura de éstos; además de esta condición, debiera elgirse un emplazamiento que esté al abrigo del impacto principal del viento, siempre que tal resguardo no introduzca en el flujo de viento perturbaciones más importantes que las que se tratan de evitar. Convendrá evitar las pendientes y los suelos fuertemente inclinados en una dirección (sobretodo si ésta coincide con la del viento predominante). El terreno circundante puede estar cubierto de césped o de pedregullo; pero una superficie plana y dura como las de cemento origina salpicaduras excesivas. La boca del pluviómetro debiera hallarse lo más bajo posible con relación al suelo (toda vez que la velocidad del viento aumenta con la altura), pero estar al mismo tiempo lo suficientemente elevada como para evitar que le agua que cae al suelo salpique en el pluviómetro. En las regiones donde la nieve es escasa y donde no hay peligro de que las inmediaciones del pluviómetro estén cubiertas, ni siquiera en caso de lluvias intensas, por charcos de agua, se recomienda una altura normalizada de 30 cm. Donde nos se cumplan estas condiciones, se recomienda una altura normalizada de un metro.

En los lugares muy expuestos en los que no se dispone de abrigos naturales, se ha observado que pueden obtenerse mejores resultados en lo que respecta a las precipitaciones líquidas si el pluviómetro se expone en el centro de un área circular cubierta con césped de unos 3 m de diámetro, limitada por un muro deberá ser vertical, en tanto que la exterior deberá tener una inclinación de unos 15° con respecto a la horizontal, hallándose su cima al mismo nivel que la boca del pluviómetro. Debieran tomarse medidas para el drenaje. El principal inconveniente de este dispositivo es que el espacio cercado puede quedar cubierto de nieve en invierno.

Otro medio de modificar las inmediaciones del pluviómetro consiste en disponer en torno al instrumento pantallas apropiadas. Cuando están bien concebidas, estas pantallas permiten obtener resultados mucho más representativos que los que se consiguen con pluviómetros no protegidos, totalmente expuestos al viento. La protección ideal debiera:

a) Asegurar un flujo de aire paralelo a la boca del pluviómetro.
b) Evitar toda aceleración local del viento por encima de la boca.
c) Reducir en todo lo posible la velocidad del viento que azota lateralmente el colector.
d) Evitar toda salpicadura en dirección de la boca del colector. La altura de la boca del pluviómetro por encima del suelo reviste entonces mucho menos importancia.

El pluviómetro OMM IRPG está equipado de una pantalla de diseño adecuado.

2.1.3 Pluviómetros no registradores.

2.1.3.1 Pluviómetros no registradores.

2.1.3.1 Pluviómetros normalizados.

El pluviómetro ordinario de lectura diaria tiene generalmente la forma de un embudo terminado en un tubo que desemboca en un colector. El diámetro de la boca del embudo no tiene ninguna importancia; probablemente, lo más práctico resultará una superficie de recepción de 200 a 500 cm^2. Es conveniente que el área del tubo receptor sea igual a 0,1 del área del embudo. Cualquiera que sea la dimensión elegida, la graduación del dispositivo de medida debe, naturalmente, estar en relación con ella. Las características más importantes de un pluviómetro son las siguientes:

a) El borde del embudo debe tener una arista cortante, descender verticalmente en la parte interior y estar biselado en pendiente rápida en el exterior; los nivómetros deben diseñarse de modo que sean muy reducido los errores debidos a la obturación parcial de la boca como consecuencia de la acumulación de nieve húmeda en sus bordes;

b) La superficie de la boca debe conocerse con una precisión del 0,5 por ciento y la construcción del dispositivo debe ser de tal índole que esta superficie sea constante;

c) El colector debe estar diseñado de modo que se evite toda clase de salpicaduras; esto puede lograrse dando la suficiente profundidad a la pared vertical y una inclinación bastante pronunciada al embudo (como mínimo 45°). En la figura 2.1.1 se muestran modelos apropiados.

d) El anillo del colector debe ser estrecho y estar suficientemente protegido de la radiación para impedir pérdidas de agua por evaporación. Los pluviómetros de lectura semanal y mensual utilizados en los lugares en que no sean posibles las lecturas diarias debieran ser de un diseño similar al de los pluviómetros de lectura diaria, pero disponer de un colector de mayor capacidad y de construcción más fuerte.

2.1.3.1.1 Dispositivos de medida.

Para la medición de la lluvia recogida en el pluviómetro se utilizan corrientemente dos métodos, a saber: una probeta graduada y una varilla graduada para la medición de nivel. La probeta debe estar hecha de vidrio transparente, con un reducido coeficiente de dilación, y llevar claramente indicadas las dimensiones del pluviómetro con el que debe emplearse. Su diámetro no debiera ser superior a 1/3 aproximadamente del de la boca del pluviómetro, e incluso es conveniente que sea inferior.

Las graduaciones deben marcarse cuidadosamente; por lo general, sólo debieran hacerse cada 0,2 mm, indicándose claramente las líneas correspondientes a cada milímetro entero. Es también conveniente que se marque la línea correspondiente a 0,1 mm. Cuando no es necesario medir las precipitaciones con tanta precisión, debiera marcarse cada quinto de milímetro, hasta 1,0 mm como mínimo, y después cada milímetro siguiente, y señalarse claramente cada graduación correspondiente a 10 mm o a cada pulgada. Si se quiere que las mediciones sean precisas, el error máximo de las graduaciones no debiera exceder de $\pm$ 0,05 mm en la graduación correspondiente a 2 mm o por encima de ella ni de $\pm$ 0,02 mm por debajo de esa marca.

Para lograr esta precisión con pequeñas cantidades de lluvia, es conveniente que el interior de la probeta esté reducido en la base. En todas las mediciones debiera tomarse como línea básica el punto inferior del menisco del agua; es importante mantener vertical la probeta y evitar los errores de paralaje. Es útil a este respecto que las principales líneas de graduación se repitan en el interior de la probeta.

Las varillas medidoras de nivel deben ser de cedro o de otro material apropiado que no absorba el agua en una proporción apreciable y cuyo efecto de capilaridad sea reducido. Las varillas de madera son inapropiadas si se ha agregado aceite al colector para evitar la evaporación del agua, debiendo utilizarse entonces varillas de metal o de otra substancia de las que pueda limpiarse el aceite con facilidad. Estas varillas deben estar provistas de un pié de cobre para evitar el desgaste y estar graduadas de acuerdo con la relación entre las superficies de los cortes transversales de la boca del pluviómetro y del recipiente, teniendo en cuenta el agua que desplaza la propia varilla; deben estar graduadas por lo menos cada 10 mm. El error máximo de graduación admisible en una varilla de medición de nivel no debe exceder en ningún punto de $\pm$ 0,5 mm

Aunque la medición pueda hacerse con una varilla, es aconsejable verificarla utilizando para ello, siempre que sea posible, una probeta graduada. Las probetas utilizadas pueden ser de capacidad muy inferior a las empleadas en los pluviómetros de lectura diaria (por ejemplo de 100 a 200 ml, en lugar de 10 a 20 ml).

Existe también la posibilidad de pesar el agua recogida, procedimiento que presenta diversas ventajas. Para ello, debe pesarse el recipiente junto con su contenido y deducirse del peso total el del recipiente vacío. De este modo, no hay peligro de que se produzcan derrames ni de que parte del líquido quede adherido en el recipiente. Los métodos corrientes, son, sin embargo, más simples y baratos.

2.1.3.1.2 Errores y precisión en las lecturas.

Siempre que las lecturas se hagan con el debido cuidado, los errores que pueden deslizarse en la medición del líquido recogido en el pluviómetro son pequeños comparados con los errores debidos a los efectos de la exposición del instrumento. El resultado de la lectura de los pluviómetros de lectura diaria debe redondearse a los 0,2 mm más cercanos y de preferencia a la décima de milímetro más próxima; la lectura de los pluviómetros de lectura semanal o mensual puede redondearse al milímetro más cercano. Los errores que pueden producirse principalmente se deben al empleo de probetas o varillas de medición carentes de precisión, al derrame de parte del líquido al transferirlo a la probeta y a la imposibilidad de transvasar a ésta toda el agua recogida en el recipiente.

Además de estos errores, pueden producirse pérdidas por evaporación. Estas pueden ser considerables en regiones de clima cálido y seco, y en caso de que los pluviómetros se observen a intervalos poco frecuentes. Dichas pérdidas pueden reducirse vertiendo aceite en el recipiente (que forma una película sobre la superficie del agua) o diseñando el pluviómetro de tal modo que a) sólo esté expuesta una superficie reducida del agua recogida, b) la ventilación sea mínima, y c) se impida la excesiva elevación de la temperatura interna del pluviómetro. Hay que asegurarse, asimismo, de que la superficie del pluviómetro en la que se recoge el agua es completamente lisa y de que las gotas de lluvia no se adhieren a ella. Esta superficie no debe pintarse.

En invierno, cuando las lluvias son a menudo seguidas inmediatamente de heladas, los daños que pueda sufrir el recipiente y, por consiguiente, las pérdidas debido a fugas pueden impedirse sirviéndose de una solución anticongelante. Esta medida se aplica también principalmente a los pluviómetros que se visitan con poca frecuencia. Como es natural, al hacer las mediciones hay que tener en cuenta la solución agregada. Conviene verificar periódicamente todos los pluviómetros para detectar eventuales fugas.

2.1.3.2 Pluviómetros totalizadores.

Los pluviómetros totalizadores se utilizan para medir la precipitación total de una estación en las zonas escasamente habitadas. Estos pluviómetros se componen de un colector unido a un embudo que desemboca en un recipiente que, por lo general, es suficientemente capaz para contener las lluvias estacionales. Al instalar estos pluviómetros, deben tenerse en cuenta los criterios de exposición y protección indicados en sección anterior.

En las zonas en que las nevadas son muy importantes, el colector debe colocarse a una altura superior a la máxima conocida de la capa de nieve. Esto puede lograrse montando el conjunto del pluviómetro en una torre o montando el colector sobre un depósito en el que se almacene la lluvia recogida. Un pluviómetro típico se compone de un tubo vertical de acero de 30 cm de diámetro, de altura suficiente para poder colocar su cubeta de 20 cm por encima de la altura máxima de la nieve acumulada.

Para transformar la nieve que cae en el pluviómetro en líquido, se vierte en el recipiente una solución anticongelante. Una solución apropiada de este tipo consiste en una mezcla de un 32,5% de cloruro de calcio comercial (con una pureza del 78%) y de un 62,5% de agua por unidad de peso. También puede utilizarse una solución de etilglicol. Pese a ser más cara la segunda solución anticongelante es menos corrosiva que el cloruro de calcio. El volumen de la solución vertida en el recipiente no debe exceder de un tercio la capacidad total del pluviómetro.

Para reducir la evaporación, debe añadirse una pequeña cantidad de aceite u otra substancia que la impida.

El valor de las precipitaciones estacionales se determina mediante el peso o la medición del volumen del líquido contenido en el recipiente. Sea cual fuere el método que se emplee, debe tenerse cuidadosamente en cuenta la cantidad de solución anticongelante introducida en el recipiente al comienzo de la estación.

2.1.4 Pluviómetros registradores.

2.1.4.1 Generalidades.

Son de uso general tres tipos de registradores de precipitación, a saber: el de pesada, el basculante y el de flotador. El único instrumento satisfactorio para medir todos los tipos de precipitaciones está basado en el principio del peso. Los otros dos tipos se utilizan principalmente para medir las precipitaciones líquidas.

. . .

2.1.4.2 Tipo de gravedad.

En estos instrumentos se registra en forma continua, por medio de un mecanismo de resorte o de un sistema de pesas, el peso del recipiente y el de la lluvia recogida desde que se inicia el registro. De este modo, las precipitaciones se registran a medida que se producen. Este tipo de pluviómetro carece por lo general de un dispositivo de autovaciado, pero por medio de un sistema de palancas es posible hacer de modo que la pluma pase por el gráfico varias veces. Estos pluviómetros deben construirse de forma que se impidan pérdidas excesivas por evaporación que puede reducirse vertiendo en el recipiente aceite u otra substancia que impida la evaporación, a fin de que forme una película sobre la superficie del agua. Las dificultades producidas por la oscilación de la balanza en caso de fuertes vientos pueden reducirse por medio de un mecanismo amortiguador a base de aceite. Este tipo de instrumento es principalmente útil para registrar las precipitaciones sólidas sin necesidad de que sean previamente licuadas.

2.1.4.3 Tipo de flotador.

En este tipo de instrumento, la lluvia recogida va a parar a un recipiente que contiene un flotador liviano; el movimiento vertical del flotador en función de la elevación del nivel del agua se transmite por medio de un mecanismo apropiado a la pluma que traza el diagrama. Ajustando debidamente las dimensiones del cubudo receptor, del flotador y del recipiente que lo contiene, se puede obtener sobre el diagrama cualquier valor deseado de la escala.

Para poder obtener un registro que cubra un período apropiado (por lo general son necesarios como mínimo 24 horas), el recipiente que contiene el flotador debe ser muy grande (en cuyo caso se obtiene una escala reducida en el diagrama) o ha de disponerse de algún medio automático para vaciar rápidamente el recipiente cada vez que esté lleno y para que la pluma vuelva a la parte inferior del diagrama. Por lo general, esto se logra por medio de un sifón; el dispositivo deberá entrar plenamente en acción en un momento determinado, sin que el agua pueda rebalsar, al principio o al final de la operación, que no debe requerir más de 15 segundos. En algunos instrumentos, la cámara del flotador está montada sobre cuchillos para que bascule una vez llena. La descarga del agua contribuye al proceso de sifonado y la cámara, una vez vacía, vuelve a su posición original. Otros pluviómetros registradores están provistos de un sifón a presión que realiza la operación en menos de 5 segundos, en tanto que otros tipos tienen una pequeña cámara separada de la cámara principal en la que se recoge la lluvia que cae durante la operación. El contenido de esta cámara se vacía en la principal una vez que cesa el sifonado, asegurándose así un registro preciso de la precipitación total.

Si existe el peligro de que se produzcan heladas durante el invierno, deberá instalarse dentro del pluviómetro algún dispositivo de calefacción. De este modo, se impedirá que el agua, al congelarse, ocasione daños al flotador y a la cámara del flotador, y será posible registrar la lluvia durante este período. En los casos en que se dispone de electricidad, es conveniente emplear un pequeño elemento calentador o una lámpara eléctrica de poca potencia; en caso contrario habrá que emplear otras fuentes de energía. Un método conveniente consiste en utilizar un hilo térmico enrollado alrededor de la cámara colectora y conectado a una batería de gran capacidad. La cantidad de calor suministrado debiera mantenerse en el mínimo necesario para impedir la formación de hielo y evitar al mismo tiempo pérdidas excesivas por evaporación.

2.14.4 Tipo basculante.

El principio de este tipo de pluviómetro registrador es sumamente sencillo. Un recipiente de metal liviano dividido en dos compartimentos se coloca en equilibrio inestable sobre un eje horizontal; en su posición normal, reposa sobre uno de dos topes, lo que impide que se vuelque completamente. El agua de lluvia pasa desde un cubudo colector ordinario al compartimento superior; una vez recogida un determinado volumen de líquido, la cubeta pierde estabilidad y se inclina hacia su segunda posición de reposo. Los compartimentos del recipiente son de forma tal que el agua puede salir entonces del inferior y dejarlo vacío; entretanto, el agua de lluvia cae de nuevo en el compartimento superior. El movimiento de la cubeta al volcarse puede utilizarse para accionar un relé y originar una marca en un registro consistente en trazos discontinuos y en el que la distancia entre cada trazo represente el tiempo requerido para la recolección de una pequeña cantidad de agua de lluvia. Si se requieren registros detallados, esta cantidad de lluvia no debe exceder de 0,2 mm. La ventaja primordial de este tipo de instrumento es que puede adaptarse para registro a distancia o para el registro simultáneo del nivel de agua de lluvia y del nivel de un río. Sus inconvenientes son:

a) que la cubeta invierte un tiempo reducido, pero finito, para bascular y que durante la primera mitad de su movimiento de báscula la lluvia va a parar al compartimento que contiene ya el volumen de líquido calculado. Este error sólo es apreciable en el caso de fuertes lluvias;

b) que, con el diseño ordinario de la cubeta, la superficie de agua expuesta es relativamente considerable y que, por consiguiente, pueden producirse pérdidas por evaporación especialmente en regiones cálidas. Este factor reviste mayor importancia si las lluvias son escasas;

c) que, debido al carácter discontinuo del registro, este instrumento no da resultados satisfactorios con ligeras lloviznas o lluvias muy finas. En este caso, no puede determinarse exactamente el momento en que comienzan o acaban.

2.1.4.5 Registradores de la intensidad de las lluvias.

Se han construido y utilizado para fines especiales diversos registradores de la intensidad de las lluvias. Sin embargo, no se recomiendan para redes de carácter general en razón de su complejidad. La intensidad de las lluvias puede registrarse satisfactoriamente con un registrador de flotador o de pesada utilizando una escala de tiempo apropiada.

2.1.4.6 Métodos de registro.

Tanto si el registrador de las precipitaciones funciona mediante la elevación de un flotador, el basculamiento de una cubeta o cualquier otro método, estos movimientos deben transformarse en algo que pueda almacenarse y analizarse ulteriormente. El medio más sencillo de elaborar un registro consiste en hacer desplazar, por medio de un reserte o dispositivo eléctrico de relojería, una faja ante una pluma que oscile con los movimientos del flotador o del dispositivo de báscula. Existen dos tipos principales de fajas:

a) La faja de tambor. Esta faja está sujeta a un tambor que gira sobre sí mismo exactamente una vez al día, una vez por semana o en cualquier período deseado.

b) La faja de cinta. Esta faja es arrastrada por rodillos y pasa delante de la pluma. Modificando la velocidad de arrastre, el registrador puede cubrir períodos de una semana a un mes, o incluso superiores. La escala de tiempo de esta faja puede ser lo bastante amplia como para permitir calcular fácilmente la intensidad.

El movimiento de un flotador, cubeta o balanza puede transformarse también en una señal eléctrica transmisible por radio o inalámbricamente a un receptor remoto lo que permite elaborar registros y preparar fichas de los datos recogidos por numerosos pluviómetros registradores.

2.1.5 Precipitaciones de nieve.

Se entiende por nevada la cantidad de nieve fresca que se deposita durante un período de tiempo limitado (por lo general, 24 horas). Se mide el espesor de la nieve y su equivalente en agua.

2.1.5.1 Mediciones directas de las precipitaciones de nieve.

La medición directa de la nieve recién caída en terrenos descubiertos se hace con una regla o escala graduada. Conviene que en los lugares en los que se considera que no hay amontonamiento de la nieve se calcula una media de varias mediciones verticales. Deberán tomarse precauciones especiales para evitar medir nieve acumulada por anteriores precipitaciones. Esto puede hacerse barriendo de antemano una superficie apropiada o extendiendo sobre la superficie de la nieve una cubierta de un material adecuado (por ejemplo, madera, con una superficie ligeramente rugosa, pintada de blanco) y midiendo el espesor de la nieve sobre esta cubierta. En el caso de una superficie inclinada (que hay que evitar en lo posible), las mediciones deben hacerse manteniendo verticalmente la regla graduada. Si el espesor de nevadas anteriores es considerable, sería erróneo, en cualquier caso, calcular el espesor de una precipitación de nieve como la diferencia entre dos mediciones consecutivas de la altura total de la capa de nieve, teniendo en cuenta el asentamiento continuo de ésta. Si se han registrado vientos intensos, deben hacerse gran número de mediciones para obtener un espesor representativo.

El espesor de la nieve puede medirse también sirviéndose de un recipiente fijo de sección transversal uniforme, después de nivelar la nieve, sin comprimirla. Este recipiente debe colocarse por encima del nivel medio de la nieve, a una altura suficiente, por ejemplo a 50 cm como mínimo, del nivel máximo observado, y en un lugar protegido de las ventiscas. El recipiente debe tener al menos 20 cm de diámetro y la suficiente profundidad para impedir que el viento se lleve la nieve recogida o, en otro caso, estar provisto de tabiques paranieves (es decir, dos divisiones verticales en ángulo recto que lo dividan en cuartos de círculo).

Los nivómetros ordinarios no protegidos son poco precisos cuando el viento es intenso, a causa de los remolinos que este forma alrededor de la abertura del nivómetro. La cantidad de nieve recogida en estos aparatos suele ser muy inferior a la de los nivómetros protegidos. Por otra parte, y a pesar de la utilización de una protección, la nieve arrastrada por las ventiscas puede originar errores considerables; estos errores pueden reducirse colocando los nivómetros de 3 a 6 metros por encima de la superficie.

En las regiones en las que las nevadas son abundantes, se utilizan estacas para conocer el espesor de la nieve depositada. Las estacas deben estar pintadas de blanco para reducir al mínimo la fusión excesiva de la nieve caída en sus inmediaciones. Las estacas en cuestión deben estar graduadas en metros y en centímetros.

2.1.5.1.1 Equivalente en agua de las nevadas.

El equivalente en agua de las nevadas debe determinarse por medio de uno de los diversos métodos que se indican a continuación:

a) Tomando muestras de la nieve con un tubo cilíndrico apropiado y pesándolas o fundiéndolas;

b) Utilizando nivómetros ordinarios (de lectura inmediata) o instrumentos registradores;

c) Tomando como base la relación aproximada: 1 cm de nieve fresca = 1 mm de agua.

Es importante tomar varias muestras representativas. La nieve recogida en un nivómetro de lectura inmediata deberá fundirse y medirse sirviéndose de una probeta graduada como las que se emplean ordinariamente para medir el agua de lluvia. Un método práctico de fundir la nieve en un nivómetro consiste en añadir una determinada cantidad de agua caliente que habrá de tenerse en cuenta cuando se mida el líquido total contenido en el nivómetro.

2.1.5.2 Nivómetros registradores.

El modelo satisfactorio de nivómetro registrador es el de tipo de pesada. En lugares en los que no es probable que llueva durante los meses de invierno, puede retirarse el embudo, a fin de que las precipitaciones puedan caer directamente en el recipiente.

Los nivómetros de flotador no son satisfactorios, en vista del calor requerido para fundir la nieve a medida que cae en el aparato, que origina pérdidas excesivas por evaporación.

2.1.6 Rocío.

Aunque la acumulación de rocío, fenómeno éste esencialmente nocturno, no es una fuente importante de humedad, dada la insignificancia relativa de su volumen, que varía, además, localmente, puede ser, sin embargo, de gran interés en las zonas áridas, en las que puede incluso alcanzar la misma magnitud que las precipitaciones de lluvia.

Como el proceso en virtud del cual la humedad se deposita en los objetos es función en gran parte de la fuente de humedad, es necesario distinguir entre rocío que se forma como resultado de la humedad atmosférica en suspensión, condensada sobre superficies frías, conocido con el nombre de "sereno", y el formado por el vapor de agua que se evapora del suelo y de las plantas y que se condensa sobre superficies frías, que se conoce con el nombre de "rocío de destilación". Ambas fuentes contribuyen, por lo general, simultáneamente a la formación del rocío registrado, aunque a veces actúen por separado. Otra fuente de humedad está constituída por la niebla o por las gotitas de lluvia recogidas por hojas y ramas y que gotean o se deslizan por las plantas hasta llegar al suelo.

Se ha tendido con frecuencia a exagerar la importancia media del rocío caído sobre una zona determinada, debido sobre todo a que se han pasado por alto las limitaciones físicas impuestas a la formación de rocío. El análisis de la ecuación del equilibrio energético revela que el calor latente del sereno y/o del rocío de destilación difícilmente puede exceder de la radiación neta y debe, de hecho, ser inferior a ésta, si se toman en consideración las apreciables transferencias del calor del suelo que se producen. En condiciones favorables, existe un límite definido, que se expresa, aproximadamente, por 1,1 mm/h/cm^2 para el valor medio de rocío de una zona dada. No obstante, la formación de rocío puede aumentar considerablemente en algunas localidades donde las temperaturas medias no son horizontalmente homogéneas y se produce una advección en pequeña escala de zonas relativamente más cálidas y húmedas a otras más frías. Además, los cálculos utilizados para evaluar la forma unidimensional del flujo de energía deben modificarse cuando se aplican a plantas aisladas, ya que el diagrama del flujo de radiación y de humedad difiere totalmente del correspondiente a una fuente homogénea. Esto no significa que la acumulación media en una extensa superficie horizontal se vea afectada, sino únicamente que algunas de sus partes se ven favorecidas en perjuicio de otras. Por diversas razones, los valores reales de acumulación serán, por lo general, muy inferiores al límite superior. En Canadá, la acumulación máxima de rocío observada en hojas de tabaco, en el sur de Ontario, fué solamente de 1,25 mm por cm^2 por noche, según pudo comprobarse por la técnica del secante en gran número de muestras recogidas durante tres estaciones de cultivo del tabaco.

Se han consagrado muchos esfuerzos, aunque sin gran éxito, a idear medios de medida de la humedad de las hojas, partiendo de superficies artificiales, con la esperanza de poder obtener resultados comparables a los logrados en condiciones naturales. En un documento de la tercera reunión de la Comisión Técnica de Meteorología Agrícola de la OMM (Documento 34, Toronto 1962), se hace un análisis de los instrumentos diseñados para medir la duración de la humedad de las hojas y una evaluación de la medida en que los diversos instrumentos proporcionan datos representativos de la humedad de la superficie de las plantas. Cualquiera de estos dispositivos sólo puede utilizarse como guía cualitativo en una situación particular o como un medio grosero de comparación dentro de una región, siendo preciso en cualquier caso proceder a una comprobación cuidadosa de los resultados. A menos que la superficie colectora de estos aparatos esté aproximadamente en contacto con la superficie de que se trate y tenga propiedades muy similares, no indicará correctamente el volumen de rocío que reciben las superficies naturales.

Teóricamente, con la técnica de flujo deben obtenerse valores promedios razonables para

toda una zona, pero la falta de conocimiento de los coeficientes de transferencia en condiciones sumamente estables hace difícil su determinación. El único método seguro de medir la importancia neta del rocío consiste en el empleo de un recipiente lisimétrico sensible. Sin embargo, con este método no se registra el rocío de destilación, ya que éste no va acompañado de variación de peso alguno. Los únicos medios generales aceptados de medir el volumen total del rocío son la técnica del secante, que consiste en pesar cierto número de hojas de papel antes y después de aplicarlas firmemente sobre las hojas.

En la "Guide to Meteorological Instrument and Observing Practices", de OMM (N° 8, TP 3, segunda edición, 1961, Capítulo VII), se hace una breve reseña de los métodos de medición del rocío desarrollados por Duvdevani (1947) y Kyrinzopoulos.

2.1.7. Observación de la lluvia por medio del radar.

2.1.7.1 Observaciones generales.

2.1.7.1.1 Utilización del radar en hidrometeorología.

El radar permite observar la ubicación y el movimiento de las zonas de precipitación y ciertos tipos de equipos de radar pueden proporcionar una evaluación de la importancia de las precipitaciones en las zonas comprendidas dentro de su alcance. A los efectos hidrometeorológicos, el alcance útil del radar es corrientemente de 40 a 200 Km, según las características del haz de antena, la potencia de salida y la sensibilidad del receptor de radar. El alcance hidrológico del radar se define como la distancia máxima a la que sigue siendo razonablemente válida la relación entre la intensidad de los ecos de radar y la intensidad de las precipitaciones. El valor de las precipitaciones en cualquier zona comprendida dentro del alcance hidrológico puede determinarse fácilmente si el equipo de radar está dotado de un control de ganancia del receptor debidamente calibrado.

2.1.7.1.2 Frecuencias y tipos de radares meteorológicos.

En el cuadro 2.1.1 a continuación se indican las bandas de frecuencias utilizadas para la observación de las precipitaciones por medio del radar.

Cuadro 2.1.1 - Bandas de frecuencias de los radares meteorológicos.

Banda	Frecuencia (Mc/s)	Longitud de onda (cm)
S	1.550 - 5.200	19,3 - 5,77
C	3.900 - 6.200	7,69- 4,84
X	5.200 -10.900	5,77- 2,75

Las precipitaciones producen una atenuación de las señales de radar, efecto que aumenta cuando se emplean radares de corta longitud de onda. En cambio, el radar de gran longitud de onda no detecta las lloviznas ni las nevadas con tanta facilidad como los equipos de menor longitud de onda. La elección de una longitud de onda adecuada depende de las condiciones climáticas y de los fines que se persigan. Para la observación de las precipitaciones, se utilizan las tres bandas de radar indicadas en el cuadro 2.1.1.

2.1.7.2 Teoría básica.

2.1.7.2.1 Ecuación radar-precipitación.

La ecuación aplicable al radar se conoce en ocasiones con el nombre de ecuación FSMR ("Free Space Maximum Range") (Alcance Máximo en Espacio Libre). Esta ecuación define el alcance máximo que cabe esperar de un sistema determinado de radar en función de sus parámetros de construcción y de la zona eficaz de recepción del eco reflejado. Cuando el elemento reflector son las precipitaciones y se estima que la lluvia cubre el haz del radar, la ecuación reviste la siguiente forma:

$$\bar{P}_r = \frac{P_t \, \Pi^4 \, A_r \, h \, (K)^2 \, Z}{8 \, R^2 \, \lambda^4}$$

Donde $\bar{P}$ = potencia media en vatios de una serie de impulsos reflejados.

P_t = potencia de cresta transmitida, en vatios.

A_r = zona eficaz de la antena en metros cuadrados

h = longitud de los impulsos en metros

R = alcance en metros.

$(K)^2$ = índice de refracción del agua (0,9313 para un equipo de radar de 10 cm, suponiendo una temperatura de 10°C).

Z = representa la reflectividad y se expresa como ΣD^6 por m^3, siendo D= diámetro de las gotas en mm.

El valor de las precipitaciones en mm se correlaciona con el diámetro medio de las gotas, como sigue:

$$\Sigma D^6 = aI^b$$

donde I es la intensidad de la precipitación en mm/hora y a y b son constantes. Se han hecho numerosas determinaciones de la distribución de la magnitud de las gotas medidas en suelo, y se ha relacionado la velocidad de caída de gotas de diferentes tamaños con un valor determinado de precipitación. La ecuación más corrientemente utilizada es la siguiente:

$$Z = 200\ I^{1,6}$$

Nota: Se considera admisible para cualquier tipo de lluvia un margen de error de - 2 %.

2.1.7.3. Factores que afectan las mediciones.

2.1.7.3.1 Tipos de precipitaciones.

Como la señal de retorno se ve afectada por el tamaño de las gotas y es proporcional a la sexta potencia del diámetro del hidrometeoro, la señal recibida es tanto más intensa cuanto más extensa sea la precipitación. Por ejemplo, el granizo produce a menudo indicaciones de precipitaciones intensas, y la nieve tiene un índice de reflectividad relativamente bajo.

Otro factor es el aumento o disipación de las gotas una vez que han salido de la zona cubierta por el haz y antes de que lleguen al suelo. El efecto de evaporación en una gota durante su descenso hacia la tierra suele ser insignificante en el caso de tormentas con precipitaciones de gran intensidad. Sin embargo, el aumento de las gotas de lluvia como consecuencia de su acreción a su paso por las capas inferiores de nubes puede contribuir apreciablemente al tamaño y al número de las gotas por debajo del haz de radar. Esto ocurre especialmente en el caso de distancias de más de 130 Km, a contar de la ubicación del radar, ya que las gotas pueden recorrer, antes de llegar a tierra, varios miles de pies a través de nubes estratiformes, después de cruzar el haz de radar.

2.1.7.3.2 Anchura del haz.

A distancias de 160 Km, el haz de radar puede tener varios kilómetros de ancho, de acuerdo con la anchura del haz empleado. Normalmente, se observarán notables variaciones en la reflectividad del radar con este gran volumen de muestreo. Se obtiene así un valor promedio para un gran volumen, más bien que un valor preciso. La ecuación aplicable al radar está condicionada q que el blanco meteorológico llene el haz del radar. Por consiguiente, no cabe esperar que los valores de precipitaciones obtenidos con un radar estén íntimamente correlacionados con mediciones pluviométricas exactas. Sin embargo, la imagen de conjunto facilitada por el radar debe ser, por lo general, mucho más representativa de la configuración isohiética verdadera de la tormenta que los resultados de las mediciones hechas por la mayor parte de las redes de pluviómetros.

En el caso de chubascos, se ha visto que la frecuencia de los ecos registrados a 160 Km era sólo del 4 % de la de los ecos registrados a una distancia de 64 Km. Por consiguiente, un chubasco que llene el haz de radar a 64 Km llenará sólo, aproximadamente, 1/8 del haz a 160 km. Este resultado se debe a una combinación de la anchura del haz y de los factores de elevación de éste.

2.1.7.3.3 Refracción del haz.

Las señales de radar se propagan por el espacio por un efecto refractivo que hace que las ondas sigan un trayecto curvo, con un radio medio aproximado de 4/3 el radio medio de la Tierra. La discontinuidad vertical de la humedad puede producir una curvatura refractiva adicional del haz de radar. Esto origina lo que se llama a menudo la canalización o distorsión del haz de radar, que tiene por efecto curvar el haz de radar hacia la tierra, o, por el contrario, hacia el espacio, con lo que éste pasa a una distancia de 80 a 120 Km de la precipitación. Las condiciones meteorológicas que favorecen el fenómeno de canalización (o distorsión) puede determinarse matemáticamente.

2.1.7.3.4 Atenuación.

La atenuación de las microondas resulta de la atenuación imputable a los gases atmosférico y a las precipitaciones. La atenuación experimentada por las ondas radioeléctricas es el resultado de dos efectos: a) absorción y b) dispersión. Por lo general, los gases actúan sólo como elementos absorbentes, en tanto que las nubosidades y las gotas de lluvia dispersan y absorben. Con equipos de radar que funcionen en longitudes de onda elevadas, la atenuación no constituye un problema y puede pasarse por alto. La atenuación suele expresarse en decibelios.

El decibelio (db) sirve para medir la potencia relativa y se expresa como sigue:

$$db = 10 \log \frac{P_1}{P_2}$$

donde P_1 y P_2 representan, respectivamente, la potencia transmitida y la potencia recibida. En el cuadro 2.1.3, se indica la atenuación de la señal en función de la importancia de la precipitación y de la longitud de onda.

[illegible]

Cuadro 2.1.3 - Atenuación de las señales de radar por las precipitaciones (db/km)

Volumen de la precipitación (mm/h)	Longitud de onda (cm)			
	10	5,7	3,2	0,9
1,0	0,0003	0,002	0,007	0,22
5,0	0,0015	0,015	0,061	1,1
10,0	0,003	0,033	0,151	2,2
50,0	0,015	0,215	1,25	11,0
100,0	0,030	0,481	3,08	22,0

Cuadro 2.1.4 - Distancia (Km) a que debe extenderse una precipitación de intensidad determinada para originar una atenuación de 10 db en diversas longitudes de onda.

Volumen de la precipitación (mm/h)	Longitud de onda (cm)			
	10	5,7	3,2	0,9
1,0	33.000	4.500	1.350	45
	6.600	690	164	9,1
	3.300	310	66	4,5
	600	47	8	0,9
	300	21	3,2	0,4

2.1.7.3.5 Atenuación en función de la distancia.

La potencia de la señal recibida es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a que se encuentra el objetivo. Por consiguiente, éste es, como puede verse, otro tipo de atenuación debido a la propagación del haz por el espacio, en el que la atenuación de la señal se acentúa a medida que aumenta con la distancia la anchura del haz. La energía de los impulsos de radar que constituyen el haz se disipa aproximadamente del mismo modo que las ondas luminosas del haz de una linterna. Muchos radares modernos compensan eléctricamente en la pantalla del aparato la atenuación introducida por la distancia.

2.1.7.4 Métodos y procedimientos (Weather Surveillance Manual, 1960, Depto. de Comercio, US, Washington, D.C.).

2.1.7.4.1 Métodos fotográficos.

En la práctica, suele utilizarse una cámara automática de revelado rápido con la que se fotografía la pantalla del repetidor, a fin de lograr diapositivas de exposición múltiple. Esas exposiciones múltiples hechas cada 10 minutos sirven para detectar las zonas en las que durante la última o las dos últimas horas se hayan producido precipitaciones persistentes y/o intensas. Las partes más brillantes de la película reforzadas por el eco con las exposiciones sucesivas representan la precipitación más intensa o la de mayor persistencia. Después de revelada, la diapositiva se monta en un chasis, proyectándose las imágenes de los ecos sobre un mapa, en el que pueden puntearse y compararse con los informes de las precipitaciones observadas.

En condiciones ideales, las zonas en las que el eco es suficientemente intenso para saturar la misma superficie en cada exposición aparecerán completamente quemadas en la diapositiva. Si una zona saturada no se mantiene durante el total de exposiciones, la fotografía contendrá una zona de eco que no llegará a estar totalmente quemada y que aparecerá grisácea en la proyección.

Si el radar está provisto de un control de ganancia escalonada del receptor (atenuadores), puede introducirse un parámetro de intensidad en la fotografía de exposición múltiple aumentando la atenuación en un valor determinado y tomando una fotografía para cada valor de atenuación. Este sistema permite realzar aún más los ecos registrados en la diapositiva y facilita la identificación de las zonas de precipitaciones de gran intensidad. Para poder analizar las tormentas retrospectivamente, es preciso tomar fotografías periódicas de la pantalla del repetidor.

2.1.7.4.2 Técnicas manuales.

a.- Representación de contornos.

El método de análisis más sencillo implica el trazado periódico de las posiciones de los ecos en hojas radariscópicas de acetato, transparentes, en las que están señalados los límites geográficos. Según el aspecto (débil, moderado o intenso) del eco, pueden hacerse evaluaciones cualitativas de la intensidad instantánea de una tormenta. Para determinar las zonas afectadas, la dirección de la tormenta, la persistencia del eco y la relación superficie-intensidad, se superponen las representaciones sucesivas de las imágenes de radar hechas a intervalos de 15 minutos.

b.- Representación de contornos con ganancia escalonada.

Si el radar está dotado de un control de ganancia escalonada del receptor (atenuadores), puede introducirse un parámetro de intensidad en el transparente radariscópico. Para ello, se trazarán cada 15 minutos, por espacio de una hora, los ecos registrados en cada uno de los niveles de atenuación elegidos. El empleo de colores diferentes permite apreciar fácilmente los núcleos más intensos de precipitación, así como la extensión su-

perficial de la tormenta.

A cada nivel de atenuación corresponde, a una distancia específica, un volumen de lluvia determinado. El empleo de atenuadores permite determinar el volumen de precipitación que representan las imágenes de radar para cualquier eco de precipitación registrado dentro del alcance del radar. Las determinaciones a distancias superiores a 180 Km son de limitada utilidad, debido a la escasa correlación que guardan con las precipitaciones observadas en el suelo.

c.- Método de rejilla.

Se pueden utilizar otros procedimientos para evaluar las precipitaciones por medio de los ecos de radar. El primero de ellos sólo indica la existencia de una precipitación y algunos datos sobre su duración. En este método, se superpone una rejilla sobre la pantalla de radar a intervalos determinados y se hace una marca en cada cuadro en que se observa el eco de alguna precipitación. Transcurrido el intervalo de tiempo seleccionado, la cuadrícula que contenga el mayor número de marcas mostrará la zona en que la precipitación ha durado más tiempo.

El segundo método está basado en el empleo de los controles de atenuación del radar, con los que se va vaciando a intervalos frecuentes la atenuación, según los valores deseados. Puede evaluarse así la intensidad instantánea de la precipitación para cada nivel de atenuación y para la distancia correspondiente, e inscribirse en la cuadrícula apropiada. Estos valores pueden servir ulteriormente para conocer el valor total de la precipitación.

2.2 Neveros

2.2.1 Observaciones generales.

La nieve que se acumula en las alturas constituye una reserva natural de la que puede extraerse la mayor parte del abastecimiento de agua de una zona. La predicción de las disponibilidades de agua es un servicio de interés para agricultores, granjeros, navieros, banqueros y entidades interesadas en la producción de energía, abastecimiento de aguas y control de las inundaciones. Al cabo de varios años de observación, puede preverse con razonable exactitud el drenaje estacional de una cuenca hidrográfica debida a la fusión de la nieve, en base a la correlación existente entre el peso del equivalente en agua de la capa de nieve de una zona nivométrica (en la época de máxima acumulación) y el escurrimiento medido en una estación de aforo.

2.2.2 Selección de secciones nivométricas.

La sección nivométrica se define como una zona permanentemente marcada donde se efectúan cada año sondeos nivométricos. Estas secciones deben elegirse cuidadosamente, a fin de que las mediciones del equivalente de agua hechas en ellas proporcionen un índice confiable del total de agua contenido en la nieve del conjunto de la cuenca. En terrenos montañosos, la ubicación ideal de las secciones nivométricas es la siguiente:

1.- Elevaciones y lugares expuestos donde la fusión antes de la acumulación máxima sea nula o muy reducida, si hay que medir la acumulación total de la estación.

2.- Lugares suficientemente accesibles para garantizar la continuidad de los sondeos.

3.- Tratándose de bosques, en claros de una hectárea de superficie como mínimo, resguardados por colinas de modo que estén protegidos de los fuertes vientos y lo bastante grandes como para que la nieve pueda llegar al suelo sin que sea interceptada.

4.- Lugares donde el promedio de una serie de mediciones represente el monto de nieve en esa altura y en esas condiciones de exposición.

El número de secciones nivométricas requeridas en una región dada dependerá de la topografía y del régimen de tormentas.

En regiones llanas, es conveniente disponer de zonas nivométricas en terrenos topográficamente típicos, con diferentes condiciones de acumulación de nieve, tales como descampados y bosques. La longitud y el número de las secciones dependen de la topografía y del régimen de distribución de la nieve. La longitud de la zona no debiera ser inferior a 1 Km.

2.2.3 Puntos de medida.

En terreno montañoso, las mediciones hechas en una sección nivométrica suelen consistir en diez o veinte muestras tomadas en puntos separados por 20 a 40 metros. En grandes zonas despejadas en las que la nieve tiende a amontonarse por la acción del viento se requerirá un mayor número de muestras. Como en un principio se carece de conocimientos sobre la tendencia de la nieve a amontonarse, es oportuno prever un extenso sondeo transversal y gran número de mediciones. Una vez que se haya comprobado la longitud y la dirección prevalecientes de las acumulaciones de nieve arrastrada se podrá reducir el número de puntos de medida.

En regiones llanas, deberá medirse el espesor de la nieve a lo largo de la sección nivométrica, a distancias de 10 a 20 metros. Entre los puntos donde se toman las muestras deben mediar de 100 a 200 metros.

Cada punto de sondeo deberá situarse exactamente indicando con una cinta métrica la distancia a que se encuentra de un punto de referencia señalado en un mapa de la sección ni-

vométrica. En cada orificio en que se toman muestras de la nieve, o en tantos puntos como sea necesario para reducir a un mínimo el posible error de localización del punto de sondeo, pueden colocarse, para que sirvan de marcadores, estacas suficientemente largas, que no queden cubiertas por las nevadas más extremas. La superficie del suelo debe limpiarse de rocas, troncos y maleza en un radio de dos metros del punto seleccionado para el sondeo, debiendo dejarse como mínimo una distancia igual entre tales puntos y los eventuales cursos de agua y superficies accidentadas. Si la sección serpentea entre árboles y si se utiliza como lugares de sondeo pequeños claros, cada punto debe situarse con respecto a dos o tres árboles determinados.

2.2.4 Equipo extractor de muestras de nieve.

El equipo, por lo general, consta de un tubo de metal o de plástico, con una sierra cortanieves fija a su extremo inferior y una escala graduada a lo largo de su cara exterior, de un dinamómetro o romana para pesar los testigos de nieve extraída, de una cuna de alambre para mantener el tubo mientras se pesa, y de herramientas para la manipulación del extractor.

En la figura 2.2.1, se muestra un juego típico del equipo utilizado para nieve profunda.

2.2.4.1 La sierra cortante.

La sierra está diseñada para poder penetrar los diversos tipos de nieve, a través de capas endurecidas y heladas y, en algunos casos, las capas sólidas de hielo de apreciable espesor. La sierra no debe apelmazar la nieve hasta el punto de que se acumule en su interior un volumen excesivo de ésta. Debe sujetar la base de la muestra con la suficiente firmeza para impedir su desprendimiento en el momento de extraer el sacamuestras. Las sierras de poco diámetro retienen las muestras mucho mejor que las de mayores dimensiones; pero, las muestras más grandes aumentan la precisión de la pesada.

La forma de los dientes de la sierra cortante debe ser tal que quede suficiente espacio para expulsar los pedacitos de hielo. La cuchilla ha de ser lo más delgada posible, aunque algo más ancha que el diámetro exterior del tubo sacamuestras. De este modo podrán depositarse los fragmentos de hielo desplazados por el avance de la sierra. La sección del borde de corte de la sierra cortante deberá tener su cara extrema ligeramente inclinada hacia afuera para apartar los fragmentos de hielo del interior del tubo tomamuestra y mantenerse afilada a fin de que haya una neta separación de la nieve frente a la pared interna. Si preven numerosos dientes, el corte será suave y se evitará que la cuchilla recoja grandes fragmentos de hielo.

El extractor de muestra Monte Rosa, ampliamente utilizada en America, está provisto de una sierra cortante de acero laminado en frío, con un diámetro interno de 3,77 cm y 16 dientes. Una sierra cortante de este tipo da resultados satisfactorios cuando el espesor de la nieve es superior a un metro. En otro caso, deberá utilizarse una sierra de mayor diámetro, tal como la soviética BC-43 (D.I. = 8 cm).

2.2.4.2 Tubo Extractor de muestras.

En la mayoría de los casos, el diámetro interior del tubo sacamuestras es mayor que el de la sierra cortante, por lo que la muestra o contenido del tubo puede ascender por éste con un mínimo de resistencia debida a fricciones contra las paredes. Sin embargo tratándose de nieve normal, la muestra tenderá a desmoronarse y a frotar contra las paredes laterales del tubo. En consecuencia, hay que asegurarse de que las paredes sean lo más lisas posibles, y de que la muestra pueda ascender por ellas sin fricciones excesivas. Por lo general, los tubos sacamuestras están hechos de una aleación de aluminio y anodizados. Aunque la superficie pueda parecer lisa, no debe creerse por ello que está garantizada la no adhesión de la nieve, sobre todo si se toman muestras de nieve húmeda de primavera con una estructura granulada gruesa. Las propiedades del tubo en lo que respecta a la adhesión se pueden mejorar con la aplicación de una capa de cera.

Algunos extractores de muestras están provistos de ranuras que permiten determinar la longitud de la muestra. En general, especialmente tratándose de nieve húmeda, la longitud de la muestra recogida puede diferir considerablemente, debido a la compresión, del espesor verdadero de la nieve, medida en las marcas exteriores del sacamuestras. Las ranuras sirven también para introducir la herramienta destinada a la limpieza del tubo. Los dispositivos provistos de ranuras tienen la ventaja de que permiten apreciar inmediatamente los errores originados por obstrucciones y descartar en el acto las muestras a todas luces defectuosas. Sin embargo, en el caso de extractores de muestras de gran longitud, las ranuras pueden permitir que entre nieve adicional que aumente el equivalente de agua medido.

2.2.4.3 El aparato para pesar.

El método ordinario para medir el contenido en agua de las muestras consiste en pesar las obtenidas con el extractor de muestras. Conociéndose el peso del extractor la muestra se deja dentro, y se pesa todo.

La operación de pesado se realiza generalmente por medio de una balanza de resorte o de una balanza especial. La balanza de resorte utilizada con el extractor de muestra tipo Monte Rosa es de forma cilíndrica, con capacidad para 3,6 Kg, lo que permite medir espeso-

res de nieve de hasta 460 cm (con una densidad de 30 %). La balanza de resorte o dinamómetro es la más práctica, ya que puede instalarse fácilmente y es de cómoda lectura, incluso en presencia de viento. Sin embargo, la precisión de la balanza de resorte es solamente de unos 10 gramos, por lo que el error al pesar la nieve con este método puede ser apreciable en el caso de sacamuestras de diámetro reducido, y de capas de nieve de poco espesor.

Las balanzas de brazos, que en potencia son más exactas, son de difícil manejo, especialmente si sopla el viento. Es dudoso que la precisión intrínsecamente más elevada que ofrece este sistema pueda lograrse, salvo en condiciones de calma absoluta.

Otro sistema consiste en almacenar las muestras en recipientes o bolsas de plástico y en transportarlas a la estación central, donde pueden pesarse con precisión o fundirse y medirse en una probeta. En la práctica, este procedimiento es de difícil realización, ya que las muestras deben ser embolsadas sin que se produzcan pérdidas,, etiquetarse cuidadosamente y transportarse a la base. La ventaja que presentan las mediciones sobre el terreno es que pueden advertirse rápidamente los errores de bulto debidos a la obturación del sacamuestras, arado de la nieve o pérdidas por desprendimiento de parte de la muestra y repetirse inmediatamente las lecturas. Los resultados, junto con las observaciones pertinentes, puede anotarse sobre el terreno, y, si se tiene cuidado de emplear una buena agenda, las confusiones en cuanto a ubicación o condiciones pueden reducirse a un mínimo.

En todas las mediciones de este tipo deben tenerse en cuenta las dificilísimas condiciones materiales en que con frecuencia se efectúan las observaciones; por lo tanto, el diseño de los extractores de muestras debe estar basado en consideraciones prácticas.

.2.5 Procedimientos de la toma de muestras de nieve.

Los puntos de muestras deberán situarse exactamente con relación a un punto de referencia indicado en el mapa de la sección nivométrica, para lo cual se medirá la distancia con una cinta métrica. Algunos pies de diferencia en la situación de uno de estos puntos puede entrañar errores. Para obtener la muestra, el tubo toma muestra se introduce verticalmente en el manto de nieve por el extremo cortante hasta llegar al suelo. Si las condiciones de la nieve lo permiten, lo más apropiado es introducir el tubo de una vez, a fin de garantizar la entrada ininterrumpida de la muestra en el interior. Se puede también hacer girar levemente el tubo hacia la derecha sin interrumpir por ello la penetración, para hacer funcionar la sierra cortante en la operación, y pueden perforarse así rápidamente las delgadas capas de hielo.

Una vez que la sierra llega o penetra ligeramente en el suelo, se puede, con el tubo en posición vertical, efectuar la lectura de la graduación de la escala correspondiente al nivel superior de la nieve. El resultado se registra después de comprobar y deducir del mismo la profundidad que el tubo ha penetrado en tierra. Este es un elemento muy importante, ya que sirve para calcular la densidad de la nieve.

Para impedir que parte de la muestra escape por el lado de la sierra mientras se retira el tanque de la nieve, se recoge en la sierra la tierra suficiente para que haga las veces de tapón. El grosor del tapón de tierra depende de las condiciones de la nieve. Para retener las muestras de aguanieve, puede ser necesaria una pulgada de tierra sólida. La presencia de la tierra en el extremo inferior del tubo de muestra que no se ha producido pérdida alguna.

La longitud de la muestra de nieve obtenida se observa a través de las ranuras del tubo y se mide en la escala que lleva el tubo en su exterior. El resultado de la lectura se registra, previa deducción de cualquier cuerpo extraño que pueda haber sido recogido por el extremo cortador. La única finalidad de esta lectura es disponer de un medio para juzgar rápidamente si se ha obtenido una muestra completa de la capa de nieve. La longitud de la muestra ideal no es el 90 %, ni ningún otro porcentaje determinado del espesor de la nieve para cualquiera condiciones de ésta, pero la relación entre la longitud de la muestra y la del espesor de la nieve se mantendrá relativamente constante en una zona determinada y dentro de un período dado.

La medición se completa pesando cuidadosamente la muestra de nieve sin sacarla del tubo. La escala de la balanza indica directamente el peso de la muestra de nieve en centímetros equivalentes de agua. La densidad de la nieve se calcula dividiendo su equivalente en agua por su espesor.

La densidad de la nieve deberá ser más o menos constante dentro de la sección nivométrica de que se trate. Una gran desviación del promedio suele significar un error en la medición en un punto determinado.

2.3 Evaporación y Evapotranspiración.

2.3.1. La estimación de la evaporación de extensiones de agua libre o de superficies terrestres, y de la transpiración de la vegetación, es de gran importancia para los estudios hidrometeorológicos. Por ejemplo, la evaluación de la evaporación puede ser decisiva en la determinación de las condiciones que reúne un emplazamiento para el establecimiento de un embalse, y es de utilidad para determinar los procedimientos ordinarios de explotación de un sistema de embalses. La evaporación y la evapotranspiración son también factores importantes de cualquier estudio hidrológico.

En la actualidad es imposible medir directamente la evaporación o evapotranspiración de grandes extensiones de agua y terrestres. No obstante, se han ideado diversos métodos indirectos que dan resultados aceptables. El presente capítulo trata de los tanques de evaporación y lisímetros que se utilizan en las redes. En los embalses existentes y en las parcelas o pequeñas superficies destinadas a mediciones hidrológicas, las evaluaciones pueden hacerse en base al balance de agua, balance energético y de métodos aerodinámicos. Estas últimas técnicas se analizan en el presente capítulo únicamente desde el punto de vista de los instrumentos de observación requeridos. El cálculo de la evaporación y de la evapotranspiración de estas superficies terrestres y de agua libres por los diversos métodos indirectos se tratan en detalle en el capítulo V.

2.3.2. Tanques de evaporación.

Para calcular la importancia de la de la evaporación de los lagos y embalses, se utilizan frecuentemente registros de evaporación obtenidos por medio de tanques de evaporación. Los tipos de tanques de evaporación en uso son muy diversos. Los hay cuadrados y circulares: algunos están enteramente montados por encima del nivel del suelo y otros enterrados en él, de modo que el nivel del agua coincida aproximadamente en el terreno. La relación evaporación anual entre el tanque y un lago es practicamente constante de un año a otro. Sin embargo, la relación entre los valores mensuales es muy variable para un determinado mes.

Se ha estudiado durante algunos años la posibilidad de adoptar intencionalmente un tanque determinado, pero no se ha llegado aún a una decisión definitiva. No obstante, la O.M.M. y la asociación Internacional de Hidrología Científica adoptaron como instrumento de referencia para el A.G.I. el tanque estadounidense tipo "A", y recomendaron a los servicios meteorológicos a instalar por lo menos uno de estos tanques de referencia en una de sus estaciones principales durante el A.G.I. Entre las razones más importantes por las que se adoptó el tanque estadounidense tipo "A" figuran las siguientes: su rendimiento se ha estudiado extensamente en una gama de condiciones climáticas y dentro de límites muy amplios de latitud y altura. Hay que señalar, en particular, que el número de ecuaciones de confianza de que se dispone para la aplicación de las observaciones hechas con atmómetros de tipo "A" a la evaporación de los lagos es más elevado que para cualquier otro tipo de evaporímetro utilizado. Además, con este evaporímetro es posible llegar a estimaciones aceptables de normas de agua sobre la base de datos climáticos, consideración ésta de cierta importancia en caso, por ejemplo de pérdida de los registros o de persistencia durante grán parte del año de temperaturas inferiores al punto de congelación.

La O.M.M. auspicia actualmente observaciones comparativas de los diversos tipos de tanques utilizados en varios países. Este programa culminará eventualmente con la adopción de un tanque normalizado.

En las secciones siguientes, se describe el tanque estadounidense tipo "A" y el tanque ruso GGI-3000, que también se ha utilizado extensamente.

2.3.2.1. Descripción de los tanques de evaporación.

El tanque estadounidense tipo "A", de forma cilíndrica, tiene 25,4 cm de profundidad y 120,65 cm de diámetro. Su parte inferior, que se encuentra a una altura de 2,5 a 5 cm sobre el nivel del suelo, está apoyado en un bastidor de 7 tirantes de madera de 5 x 10 cm, que descansan en otros cuatro de 5 x 10 cm, también de madera, lo que permite la circulación del aire por debajo del tanque.

El tanque ruso GGI-3000 es también cilíndrico, con una superficie de 0,3 m2 y una profundidad de 60 cm. La parte inferior del tanque es de forma cónica. Se coloca semi-enterrado en el suelo.

2.3.2.2. Equipo auxiliar.

Además del tanque, se emplean los siguientes instrumentos en las estaciones de evaporación:

1) Un anemómetro situado a 1 o 2 metros por encima del tanque, que sirve para determinar el movimiento del aire sobre éste.
2) Un pluviómetro no registrador.
3) Un termómetro o termógrafo que indica las temperaturas máxima, mínima y media del agua contenida en el tanque.

4) Termómetros o termógrafos de máxima y mínima para medir las temperaturas del aire, o un higrotermógrafo o psicrómetro se se desea conocer la temperatura y la humedad del aire.

2.3.2.3. Disposición de la estación de evaporación.

El lugar elegido debe ser bastante llano y estar cubierto de césped y libre de obtáculos. En los lugares en que las condiciones climáticas y del terreno no permitan la existencia de una capa vegetal, debe hacerse lo posible para que la superficie del suelo se asemeje a la superficie natural común a la zona. Los obstáculos tales como árboles, edificios, arbustos próximos o abrojos para los instrumentos, deben hallarse a una distancia igual o superior a cuatro veces la altura del objeto por encima del atmómetro. En ningún caso deberá colocarse el atmómetro o el abrigo de instrumentos sobre una losa o pedestal de hormigón, ni sobre asfalto o capas de pedregullo.

Los instrumentos deben instalarse en la parcela o estación de evaporación de modo que no proyecten sombras sobre el atmómetro. Es conveniente prever una parcela de 6 m2, rodeada de una valla que proteja los instrumentos e impida que los animales beban el agua.

2.3.2.4. Método de observación.

El nivel del agua del atmómetro debe medirse con precisión con un indicador de gancho. El indicador está correctamente ajustado cuando la punta del gancho roza la superficie del agua. También puede emplearse a estos efectos un flotador. Es indispensable que el dispositivo de medición esté encerrado en un tanque de agua tranquila, de unos 10 cm de ancho en su parte superior y 30 cm aproximadamente de profundidad, con un punto fijo situado a unos 6 o 7 cm por debajo del borde del tanque. Para agregar o extraer agua en cada observación, de modo que el nivel se mantenga en el punto fijo, se utiliza un recipiente calibrado.

La evaporación diaria se calcula sobre la base de la diferencia del nivel de agua en el atmómetro, en días sucesivos, menos la precipitación recogida durante este período.

Se utilizan diversos tipos de tanques automáticos. El nivel de agua del tanque se mantiene constante vertiendo en él agua procedente de un tanque de almacenamiento. El volúmen de agua vertido en la cubeta del tanque se registra.

2.3.3. Lisímetro. Evapotranspiración. (se preparará más adelante)

2.3.4. Método del balance hidrológico.

Este es un método directo y sencillo se pueden medirse con la suficiente precisión todos los valores del caudal de entrada y de derrame y las variaciones del almacenamiento, excepción hecha de la evaporación o evapotranspiración. Este método volumétrico se ha utilizado como base para evaluar el balance de energía y métodos aerodinámicos en estudios hechos sobre el terreno sobre evaporación de lagos y embalses.

2.3.4.1. La evaporación en lagos o embalses.

El estudio de las fluctuaciones volumétricas de un lago o embalse incluye los siguientes elementos: evaporación (E), caudal de afluencia (I), precipitaciones (P), infiltración neta y acumulación en las riberas (N), derrame (O) y variación del almacenamiento (ΔS). Si pueden medirse o evaluarse todos estos elementos:

$$E = I + P - N - O - \Delta S$$

En esta ecuación se utilizan unidades de volúmen. El volúmen de la evaporación debe dividirse por el área de la superficie cubierta por el agua para poder transformarlo en centímetros o pulgadas. La evaporación no debe calcularse para períodos de duración inferior a una semana, dados los probables errores en la determinación de los datos que integran la ecuación.

La aplicación de este método está limitada a aquellos lugares en que la infiltración, los aportes de caudal y el derrame son reducidos en comparación con la evaporación.

2.3.4.1.1. Caudal de afluencia y caudal de derrame.

El caudal de afluencia y de derrame del embalse deben ser bien definidos. La influencia y el derrame deben medirse continuamente por medio de los métodos indicados en la sección 2.4. Si fuese posible, deberán instalarse vertederos en los puntos de medida para garantizar una relación constante y sensible entre el nivel y la descarga, mejorándose así la precisión de las mediciones.

2.3.4.1.2. Precipitaciones.

Debe determinarse con precisión el volúmen de las precipitaciones en la superficie del lago por medio de pluviómetros instalados convenientemente en las orillas.

Los pluviómetros no registradores descritos en la sección 2.1 son adecuados para este fin, ya que los elementos que intervienen en el cálculo de las fluctuaciones del volúmen de agua se computan para períodos de tiempo de una semana o más. El número de pluviómetros requeridos dependerá de la variabilidad de las precipitaciones y de la extensión del lago.

2.3.4.1.3. Infiltración neta y acumulación en las riberas.

El primer elemento no puede medirse directamente y debe evaluarse por métodos indirectos. En la sección 5 se describe uno de estos métodos para determinar la infiltración neta. El almacenamiento en las riberas puede evaluarse mediante el estudio del nivel del agua subterránea medida en pozos perforados alrededor del lago. Antes de seleccionar un lago o embalse para medir la evaporación debe asegurarse que la infiltración y el almacenamiento en las riberas son relativamente reducidos.

2.3.4.1.4. Variación del volúmen de agua embalsada.

Los registradores del nivel de agua descritos en la sección 2.4 son suficientemente precisos para determinar la variación del nivel del embalse. La relación existente entre el nivel y el agua embalsada deberá establecerse con precisión.

2.3.4.2. Parcela o estación para medir la evapotranspiración.

Para calcular la evapotranspiración neta de una parcela de evaporación, puede emplearse el método basado en la fluctuación del volúmen de agua. Los elementos que intervienen en la acuación aplicable al cálculo de las fluctuaciones volumétricas del agua embalsada son evapotranspiración (E_t), precipitación (P), derrame (R), variación del agua subterránea (Δ S) y agua que sube del embalse debido a infiltraciones profundas (G) La ecuación es:

$$E_t = P - R - \Delta S - G$$

La evapotranspiración anual de una parcela por año hidrológico puede evaluarse como la diferencia entre las precipitaciones y el derrame, a condición de que el estudio geológico demuestre que la infiltración profunda es relativamente insignificante. La fecha elegida para el comienzo y el fin del año hidrológico deberá coincidir con la estación seca, en que el volúmen de agua embalsada es relativamente pequeño y la variación anual de este volúmen prácticamente despreciable.

Si la evapotranspiración debe calcularse para un período de tiempo más corto y por ejemplo, una semana o un mes, debe medirse el valor del almacenamiento de líquido en el subsuelo y en el cauce de la corriente. Esto no es factible, salvo en el caso de parcelas y estaciones experimentales muy reducidas.

2.3.4.2.1. Precipitación.

El volúmen de precipitación que llega a la parcela o estación debe medirse exactamente con una red de pluviómetros. Los pluviómetros no registradores descritos en la sección 2.1 son adecuados para este fin. El número de pluviómetros requeridos dependerá de la variabilidad de las precipitaciones prevista en la parcela o estación.

2.3.4.2. 2. Caudal.

Los instrumentos y métodos apropiados para la medición contínua del caudal se describen en la sección 2.4.

2.3.4.2.3. Variación del almacenamiento.

La variación del almacenamiento de agua en el subsuelo se mide por separado para las zonas saturadas y para las no saturadas. Se requieren mediciones del nivel de la capa freática en pozos, y de la humedad del suelo, en las zonas no saturadas.

El nivel de la capa freática puede determinarse midiendo el final de cada período de tiempo para el que debe calcularse la evapotranspiración, la distancia existente entre puntos de referencia determinados y la superficie del agua en los pozos. La variación en volumen de la acumulación de agua es igual a la variación media del nivel de agua en los pozos multiplicado por el rendimiento específico de la formación, y por el área de la parcela en que se efectúa la medición.

Los perfiles de humedad del suelo desde el nivel de saturación (o desde un punto de humedad constante, en el caso de regiones áridas) Hasta la superficie del terreno deben medirse al final de cada período de cálculo en diversos puntos de la parcela por medio de cualquiera de los métodos descritos en la sección 2.6. Entonces puede computarse la ganancia o pérdida de humedad del suelo durante el período en cuestión.

2.3.4.2.4. Infiltración profunda.

La cantidad de agua que pierde la parcela en concepto de infiltración profunda no puede medirse directamente. Para conocer la magnitud relativa de este escurrimiento, es preciso hacer un estudio geológico de las características de las capas subyacentes. Por lo general, este factor es de tan poca importancia que puede pasarse por alto en los estudios hidrológicos.

2.3.5. Método del balance energético.

El método del balance energético se ha venido utilizando durante algún tiempo para evaluar la evaporación de los océanos y se ha aplicado también en escala limitada a estudios sobre la evaporación en lagos y embalses. Este método se basa en la evaluación de todas las fuentes de entrada y salidas de energía térmica, más las variaciones en las reservas de energía; la diferencia resultante representa la energía utilizada en la evaporación.

Este método se ha empleado también para estudiar la evaporación de superficies terrestres saturadas (evaporación potencial), y en la actualidad se estudia activamente en numerosos países su aplicación a la medición de la evapotranspiración de superficies terrestres.

2.3.5.1. Evaporación en un lago o embalse.

La medición por este método de la evaporación en un lago o embalse determinado requiere la observación sobre el terreno de la radiación solar y de la radiación de onda larga, de las temperaturas de la superficie del agua y de aire, de la presión del vapor de agua del aire, de la energía térmica almacenada en el agua y de la energía neta transferida por transporte líquido a la masa de agua. Los instrumentos y procedimientos de observación apropiados se describen en el presente capítulo. Las ecuaciones básicas y los procedimientos de cálculo se exponen en el capítulo 5.

2.3.5.1.1. Radiación solar.

La radiación solar incidente deberá medirse en un lugar próximo al embalse por medio de un pirheliómetro y sus resultados deberán registrarse continuamente. El pirheliómetro está constituído por un disco plano, montado horizontalmente dentro de una ampolla de vidrio de calcio. El disco está dividido en un punto blanco central, en un anillo negro y en un anillo exterior blanco. Una pila termoeléctrica de 10 bornes mide la diferencia de temperatura entre las zonas negras y blancas, que es proporcional al flujo de radiación que penetra en la ampolla. Los instrumentos de radiación y los métodos de calibrado se describen en la "Guide to Meteorological Instrument and Observing Practices", Suplemento N° 1, 1963, de la OMM.

Las mediciones deberán efectuarse con una aproximación del 3 %.

2.3.5.1.2 Radiación de onda larga.

Para medir indirectamente las radiaciones de onda larga, se utiliza el radiómetro de plana plana; estos instrumentos no tienen la suficiente selectividad para medir longitudes de onda diferentes y miden en consecuencia todas las longitudes de ondas. La radiación de onda larga se estima como la diferencia entre la radiación total recibida del sol y del cielo, registrada con un radiómetro, y la radiación solar. Ambos instrumentos se instalan en el mismo lugar. El radiómetro artificialmente ventilado, provisto de un reflector de radiaciones en su parte inferior, es el único instrumento adecuado que puede utilizarse para medir la radiación total recibida. El radiómetro se compone de una placa cuadrada de dos pulgadas, montada horizontamente en la boca de un pequeño ventilador. Esta placa es de aluminio, presentando una superficie superior ennegrecida y una superficie interior pulida. Una pila termoeléctrica mide el gradiente vertical de la temperatura a través de una lámina aislante insertada entre las dos láminas de aluminio que componen la placa. De este modo, la tensión de la pila termoeléctrica es proporcional al flujo térmico que atraviesa la placa, que a su vez es proporcional a la energía recibida por la superficie ennegrecida después de deducida la radiación del cuerpo negro. Para conocer el valor de ésta última corrección, se emplea una pila termoeléctrica separada, que mide la temperatura de la superficie ennegrecida. La misión del ventilador consiste en eliminar el efecto del viento sobre el coeficiente de calibración del dispositivo.

2.3.5.1.3 Temperatura del aire.

La temperatura del aire deberá medirse en las proximidades del centro del embalse, a una altura de dos metros por encima de la superficie del agua. Tratándose de embalses pequeños; la temperatura del aire no se modifica considerablemente al paso de éste por la superficie del agua, por lo cual podrán hacerse mediciones satisfactorias de la temperatura del aire desde un lugar de la orilla situado contra el viento.

Aunque sería suficiente que la temperatura del aire se observase en intervalos de 1, 4 o 6 horas, es conveniente disponer de registros continuos de temperatura.

especialmente en relación con las mediciones higrométricas. Los termómetros eléctricos compuestos por termocuplas son adecuados para los registros de los potenciómetros multicanales registradores que se requerirán para las mediciones de las radiaciones.

Al medir las temperaturas atmosféricas, los termómetros deben protegerse del sol, sin disminuir por ello la ventilación natural. Se ha diseñado una protección especial contra las radiaciones para los termómetros termocuplas. Esta protección está basada en el símbolo del triskelio. Para asegurar una protección adecuada, se utilizan cuatro aletas. Cada una de ellas, constituye una sección de un cilindro, cuyo diámetro es igual al radio del conjunto de la protección, más la mitad del radio de la superficie central en la que está situada la termocupla. Las aletas están remachadas a discos metálicos, que constituyen la tapa y el fondo.

Para conseguir una protección adicional contra la radiación se superpone un sombrerete.

Las mediciones de la temperatura de la atmósfera deben tener una precisión de $\pm$ 0,3 °C.

2.3.5.1.4 Temperatura de la superficie del agua.

La medición de la temperatura de la superficie del agua deberá hacerse en un punto próximo al centro del embalse. Por esta razón, habrá de utilizarse un termógrafo con un capilar mercúrial en tubo de acero con un tubo de tipo burdon. Debe preverse una balsa a fin de que el registrador pueda instalarse en un abrigo para instrumentos. El bulbo del termómetro deberá sumergirse en el agua un centímetro aproximadamente.

Las mediciones de la temperatura del agua deben tener una precisión de ± 0,3 °C.

2.3.5.1.5 Humedad o presión del vapor de agua del aire.

Las mediciones del grado de humedad del aire se hacen en el mismo lugar que las mediciones de la temperatura atmosférica. A los efectos de registro, los instrumentos más apropiados son los psicrómetros provistos de termómetros a termocuplas. Los termómetros a termocuplas descritos en la sección 2.3.5.1.3, con un termómetro termocupla adicional para registrar las temperaturas del termómetro húmedo, darán resultados satisfactorios. Las termocuplas de termómetro húmedo requieren una mecha y un depósito. El depósito y la mecha se dispondrán de modo que el agua llegue al bulbo húmedo aproximadamente con la misma temperatura del termómetro húmedo. Los termómetros húmedo deben estar protegidos de las radiaciones, manteniéndose al mismo tiempo la ventilación adecuada para obtener la verdadera temperatura del termómetro húmedo. Una protección similar al descrito en la sección 2.3.5.1.3 para la temperatura atmosférica proporcionará una ventilación adecuada si la velocidad del viento es superior a 0,5 m/seg. En la práctica, la pantalla del termómetro húmedo se instala inmediatamente debajo del protector para la temperatura atmosférica. Si las mediciones de las temperaturas de los termómetros secos y húmedos se efectúan con una precisión de 0,3 °C, la humedad relativa no debe exceder de 7 % para temperaturas moderadas, valor adecuado para determinar la presión del vapor de agua del aire.

2.3.5.1.6 Energía térmica almacenada.

Cada dos semanas o mensualmente deberá observarse la temperatura del agua del lago. Habrá que determinar en unas 25 estaciones, cada una de las cuales represente una superficie equivalente, un perfil o gráfico de la temperatura del fondo. El instrumento más satisfactorio para medir la temperatura del fondo del lago es el termómetro de resistencia, con circuito del puente desequilibrado. Al emplear el termómetro de resistencia, deberá preverse la suficiente longitud de cable entre éste y el circuito del puente, a fin de que pueda llegarse a la profundiad máxima del embalse. La precisión de estas mediciones de la temperatura del agua debe ser de ± 0,1 °C.

2.3.5.1.7 Energía advectiva neta.

Debe medirse asimismo el valor de la energía térmica aportada al embalse por el caudal afluente o por las precipitaciones y el de la energía perdida como consecuencia del derrame. Estas mediciones no es necesario que sean muy precisas, ya que el valor de este componente de energía es reducido si se le compara con la requerida por el proceso de evaporación.

El valor de las precipitaciones y del caudal deberá medirse en la forma descrita en las secciones 2.1 y 2.4. Se puede partir de la hipótesis de que la temperatura del agua de lluvia es la misma que la temperatura del termómetro húmedo. La temperatura de la corriente deberá medirse diariamente o registrarse por medio de un termógrafo.

2.3.5.1. [illegible]

Las medidas de radiación y de temperatura del aire se hacen generalmente en los mismos lugares, bien sea en el centro del lago, bien en una estación situada contra el viento, en la orilla. De este modo, se pueden registrar consecutivamente diversos elementos con un solo registrador múltiple de cinta o numérico. En ocasiones se utilizan, junto con los registradores de cinta, dispositivos de integración. Estos dispositivos presentan un cuadro visual del valor promedio de cada parámetro durante el período de tiempo para el que deben calcularse la evaporación (generalmente 10 días o 2 semanas).

2.3.5.2 Evapotranspiración. (se preparará más adelante).

2.3.6 Método aerodinámico.

Este método está basado en la medición de los factores que influyen en el desprendimiento real de vapor de agua de una superficie en virtud de procesos de difusión turbulenta y de transporte. Aún no se ha desarrollado totalmente una teoría válida, pero en condiciones favorables se obtienen buenos resultados por medios empíricos.

2.3.6.1 Evaporación en un lago o embalse.

La medición por este método de la evaporación en un lago o embalse requiere la observación sobre el terreno de la velocidad del viento, de la humedad y de la temperatura del agua. En las secciones siguientes, se describen los instrumentos y las técnicas de observación que deben utilizarse.

Las ecuaciones y procedimientos básicos de cálculo se indican en el capítulo V.

2.3.6.2.1 Velocidad del viento.

La velocidad del viento debe medirse cerca del centro del embalse, a unos 2 metros por encima de la superficie del agua. En la práctica se emplea como soporte para los instrumentos indispensable para la aplicación de este método una balsa anclada en el lago.

Para determinar la velocidad media del viento, podrá utilizarse cualquier tipo de anemómetro que proporcione indicaciones o trace un registro.

El rotor de tres tazas o los anemómetros de molinete son los más adecuados para la realización de registros a distancia. Los rotores de tres tazas proporcionan el mayor momento de arranque, y por medio de un sistema de engranajes puede utilizarse un contador totalizador o contactos eléctricos para registrar la velocidad del viento. La precisión de las mediciones de velocidad del viento con los anemómetros de tres tazas o de molinete, es corrientemente de - 0,5 m por segundo, valor que se considera aceptable para mediciones de evaporación.

Si se utiliza un anemómetro totalizador, habrá que prever la lectura del contador a intervalos fijos, de preferencia diariamente. Si se emplea un anemómetro eléctrico, deberá preverse un registrador. Esto puede hacerse instalando un marcador eléctrico de datos en el borde del registrador de la temperatura.

2.3.6.2.2 Temperatura de la superficie del agua.

Deberá obtenerse cerca del centro del embalse un registro continuo de la temperatura de la superficie del agua. A tal efecto, se consideran adecuados los instrumentos descritos en la sección 2.3.5.1.3.

2.3.6.2.3 Humedad o presión del vapor de agua del aire.

Las mediciones higrométricas deben hacerse de preferencia cerca del centro del embalse, a una altura de 2 metros por encima del nivel del agua. Los instrumentos necesarios para medir la humedad se describen en la sección 2.3.5.2.4.

Siendo difícil mantener equipos de este tipo en el centro del lago, la humedad se mide por lo general en una estación cercana al lago y situada contra el viento. La diferencia entre la humedad del aire situada en tierra puede determinarse empíricamente en el proceso de cálculo que se describe en el capítulo V.

2.4 Medición del nivel de la corriente y del gasto.

2.4.1 Generalidades.

Las estaciones de aforo se encargan, entre otras cosas, de efectuar la medición del nivel de la corriente y del gasto. Los registros de nivel se obtienen mediante observaciones sistemáticas con una escala o limnímetro, o por medio de un registrador automático. La medición del gasto permite establecer la relación entre el nivel y el gasto, que se utiliza para determinar un registro hidrométrico continuo. Estos registros sirven para evaluar las reservas totales de agua, prever las inundaciones, diseñar estructuras hidráulicas y calcular el contenido químico o de sedimentos de las corrientes.

2.4.1.1 Definiciones.

El nivel de un río (o altura) es la elevación de la superficie de agua con respecto a una cota determinada.

El gasto de un río es el volumen de agua que fluye a través de una sección transversal en una unidad de tiempo.

2.4.2 Selección de la ubicación.

El aforo de una corriente se realiza cuando se necesitan datos sobre esta corriente en particular, o porque es representativa, de otras corrientes de la región y puede utilizarse como parte de una red hidrológica. Al seleccionar un lugar específico para la instalación del aforador, habrá que tomar en consideración la precisión con que pueden hacerse las observaciones y la estabilidad del lecho. No obstante, cabe que la elección de la ubicación esté dictada por consideraciones tales como la existencia de carreteras de acceso, o la disponibilidad de un observador si se trata de un aforador no registrador.

2.4.2.1 Mediciones de nivel.

El lugar en que ha de medirse el nivel debe elegirse cuidadosamente para garantizar, siempre que sea posible, una relación estable entre el nivel y el gasto. La estabilidad de la relación nivel/gasto se mejora si el lugar de medida está situado:

a) inmediatamente aguas arriba de un obstáculo o catarata natural o de una estructura artificial de control;
b) en un trecho recto;
c) lejos de la confluencia de corrientes tributarias;
d) donde el lecho del río es estable;
e) donde la corriente no anega las orillas.

2.4.2.2 Medición del gasto.

La medición del gasto se hace desde un bote, cable o puente o vadeando la corriente. No es preciso que esta medición se haga en el lugar exacto en que se ha instalado el aforador en el caso de un cauce recto.

Las medidas del gasto más precisas se obtendrán en secciones transversales que reúnan las siguientes características:

a) velocidades paralelas en todos los puntos y que formen ángulo recto con la sección transversal de la corriente:
b) curvas uniformes de distribución de velocidad en la sección en los planos vertical y horizontal;
c) Velocidades superiores a 15 cm por segundo;
d) lecho del río uniforme y estable;
e) profundidad superior a 30 cm;
f) la corriente no debe inundar las márgenes;
g) ausencia de plantas acuáticas.

Normalmente, no será posible hallar una ubicación que reúna todas estas características. No obstante, puede hacerse mediciones satisfactorias en la mayor parte de las secciones aumentando el número de puntos de observación o utilizando un equipo especial.

2.4.3 Instrumentos y equipos.

2.4.3.1 Aforadores para la medición del nivel.

2.4.3.1.1 Limnímetros.

Los limnímetros utilizados para la medición de los niveles son los siguientes.

a) una escala graduada instalada en el cauce;
b) una plomada instalada en un armazón construido sobre la corriente. El hilo de la plomada está arrollado en un tambor pequeño; la distancia a que se encuentra la superficie del agua de una barra metálica de referencia se mide por el número de revoluciones del tambor registradas en un contador.

2.4.3.1.2 Limnígrafos.

Los tipos de aforadores de registro continuo que se utilizan son muy diversos. Pueden clasificarse según el sistema de funcionamiento y el sistema de registro.

a) Una instalación corrientemente utilizada consiste en una cámara tranquila conectada al caudal por medio de tuberías, y en un flotador instalado dentro de la cámara y conectado a la rueda de un registrador por una cadenilla o por una cinta perforada. La relación

entre la superficie A_w de la cámara y la superficie A_p de la tubería de conexión no debe ser excesiva en el caso de una corriente muy rápida, si se quiere reducir a un mínimo la diferencia entre la elevación del nivel del agua en el río y en la cámara. Para determinar el retraso de respuesta (Δh) correspondiente a una longitud de cañería de toma (L), con un diámetro interior (D), para un valor determinado de nivel, $\frac{dh}{dt}$, puede aplicarse la siguiente relación:

$$\Delta h = \frac{0{,}01}{g} \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{A_w^2}{A_p^2} \cdot \frac{dh}{dt}$$

Los valores de g, aceleración de la gravedad, dh/dt y Δh pueden expresarse en m y sg o en piés y segundos. Mil es un valor promedio adecuado para A_w/A_p, pero a menudo el limo arrastrado por la corriente impone un límite inferior de 5 cm de diámetro para la cañería de toma.

Los limnígrafos son también accionados por sistemas electromecánicos. Por ejemplo, el aforador de burbuja transfiere la presión originada por la altura del río a un manómetro en forma de "U", que contiene mercurio, por medio de un sistema de purga de gas. Un dispositivo sensible mecánico o eléctrico mantiene el mercurio a un nivel constante elevando o descendiendo uno de los extremos del tubo en "U" para compensar la variación de presión debida a la elevación o al descenso del nivel del río. El registrador está unido al extremo movible del tubo en "U". Con este método, el nivel del río puede registrarse con una aproximación de ± 3 mm. Los sistemas electromecánicos son complejos si se les compara con los sistemas de flotador, pero no requieren, en cambio, la construcción de cámaras tranquilas.

b) El nivel del río se registra corrientemente por medio de registradores de banda continua. La cinta debe progresar como mínimo 6 cm en 24 horas. La relación nivel/escala no debe exceder normalmente de 12 a 1. Los instrumentos de este tipo deben registrar el nivel con una aproximación de 3 mm.

En el futuro, irá generalizándose el empleo de aforadores decimales, ya que los datos de nivel registrados en esta forma son compatibles con la utilización de calculadoras electrónicas en los cálculos y análisis de gasto. Un registrador decimal utilizado en la actualidad en varios países consiste en un punzón de movimiento lento, accionado por una batería, que registra en una cinta de papel de 16 canales a intervalos de tiempo determinado, un número de cuatro cifras. Este registrador es esencialmente un dispositivo para codificar y registrar la posición de un eje maestro, pero puede adaptársele de modo que admita una entrada de tensión, registre una secuencia de diversas variables, o transmita datos por cable o por radio.

2.4.3.2 Molinetes para medir la velocidad de la corriente.

La velocidad de la corriente en un punto determinado se mide generalmente contando el número de revoluciones del rotor de un molinete durante un breve período de tiempo medido con un cronómetro. El molinete se suspende en la corriente sirviéndose de una barra o alambre. Los molinetes de uso general son de dos tipos, a saber: el de cazoleta, con un eje vertical, y el de hélice, con un eje horizontal. Ambos tipos están provistos de un descriptor que genera un impulso eléctrico para indicar las revoluciones del rotor.

Los molinetes deben calibrarse individualmente, a fin de cubrir la gama de velocidades de corriente que se ha de medir; hay que procurar que el calibrado se efectúe en condiciones de suspensión similares a las que se emplean en la práctica para medir la velocidad de corriente. Si no fuere posible hacer este calibrado individual, podrá adoptarse un calibrado medio basado en cierto número de molinetes del mismo tipo, pero en tal caso deberá concederse particular atención a la cuestión de la tolerancia que se ha de emplear para la estimación de los errores.

El contraste del molinete puede efectuarse remolcándolo en aguas tranquilas y anotando la velocidad de rotación de la hélice en diversas velocidades horizontales. El contraste deberá verificarse periódicamente repitiendo la operación anterior o comparándola con un patrón para asegurarse de que no ha variado. Los medidores cuya cámara interior contiene aceite deben calibrarse al menos cada año; los medidores desprovistos de cámara de aceite se calibrarán una vez al año.

2.4.3.3 Equipo para la medición de secciones transversales.

Para las mediciones de ancho, se usa normalmente una cinta graduada de acero o una cadenilla también graduada.

Para medir la profundidad del río se emplea una barra graduada, o una plomada unida a un alambre arrollado a un tambor. El efecto de arrastre ejercido sobre un sondeador de alambre puede reducirse sujetando un peso de forma aerodinámica en el extremo de un alambre delgado. Si el alambre no está vertical con respecto a la superficie del agua, deberá medirse el ángulo que forma con ésta por medio de un transportador.

La profundidad puede medirse también con una ecosonda. El amplificador magnético suele montarse en la propia sonda, y la profundidad se registra en un registrador de banda continua. Es preciso calibrar periódicamente el sondeador en las mismas condiciones de salinidad y de temperatura del agua que se dan en la práctica cuando se efectúan las medidas.

2.4.4 Métodos de observación.

2.4.4.1 Procedimientos para las mediciones de nivel.

El limnímetro debe ajustarse de modo que el valor de cero corresponda a un nivel inferior al más bajo que pueda preverse, con lo que se evitará la obtención de lecturas negativas. Las indicaciones del aforador deben verificarse anualmente comparándolas con niveles locales de referencia. Es muy importante que se mantengan a lo largo de todo el período de registro las mismas cotas de referencia.

2.4.4.1.1 Limnígrafos.

La pluma registradora se ajusta por comparación con un aforador auxiliar de flotador de cinta, o con una escala colocada en el interior de la cámara tranquila. Además, para poder comparar el nivel de la superficie del agua en la cámara tranquila con el del río, es necesario sumergir en la corriente una barra o un aforador de plomada graduados en función de las mismas cotas de referencia; normalmente, se observarán pequeñas diferencias, debido a la velocidad de la corriente al pasar por las cañerías de toma. La existencia de diferencias importantes es indicio de que las cañerías de toma están obstruídas.

El registrador se inspecciona normalmente cada vez que se cambia la faja, a fin de asegurarse de su correcto funcionamiento. En cada sección de la faja deberán anotarse los valores interiores y exteriores de aforo y la hora en que se cambió la faja.

2.4.4.1.2 Aforador no registrador.

La frecuencia de los registros del nivel del agua está determinada por el régimen hidrológico de la corriente. Para la mayor parte de las corrientes es suficiente hacer mediciones sistemáticas dos veces al día completadas con lecturas más frecuentes durante las inundaciones. En el caso de ríos cuyo nivel está sujeto a bruscas fluctuaciones es obligado prever la instalación de registradores del nivel de agua.

El limnímetro se emplea frecuentemente como parte de sistemas de predicción de inundaciones, siempre que se dispone en el lugar mismo de un observador que pueda dar cuenta inmediatamente de la altura del nivel del río.

2.4.4.2 Medición del gasto por el método del Molinete.

La medición del gasto por el método área/velocidad se muestra en la figura 4.1. La profundidad del río en la sección transversal se mide en las estaciones apropiadas con una barra o sonda. Al mismo tiempo que se mide la profundidad, se hacen observaciones de la velocidad con el molinete en uno o más puntos de la vertical. Las medidas de ancho, profundidad y velocidad permiten calcular el gasto correspondiente a cada subárea de la sección transversal. La suma de los gastos de estas subáreas representa el gasto total.

2.4.4.2.1 Selección de puntos de medida (verticales).

La precisión de las mediciones de gasto depende en parte del número de puntos en que se hagan observaciones de profundidad y de velocidad. En general, la separación entre dos puntos no debe ser mayor que 1/20 del ancho total, y el gasto entre dos puntos cualesquiera no deberá ser superior al 10 por ciento del gasto total. Los puntos de observación deben instalarse de modo que pueda definirse debidamente la variación en elevación del lecho de la corriente y la variación horizontal en velocidad. Tratándose de corrientes muy pequeñas se requerirán menos puntos, ya que la separación entre dos puntos cualesquiera debe ser mayor que el diámetro de la hélice del molinete. Deberá aumentarse el número de puntos cuando se hagan las primeras mediciones en una nueva ubicación.

2.4.4.2.2 Medición del ancho.

El ancho del canal y la distancia entre las estaciones se determinarán mediante mediciones hechas a partir de un punto fijo de referencia, que deberá hallarse en el mismo plano que la sección transversal.

Normalmente, los puntos para determinar el ancho con el auxilio de una cadena que se tiende provisoriamente a través del río, o de marcas semipermanentes pintadas en el pasamanos de un puente o en un cable de suspensión.

2.4.4.2.3 Medición de la profundidad.

Si la medición se hace en un vado, la profundidad puede obtenerse directamente por medio de una varilla graduada colocada en el lecho del río. Si el aparato de medida y la plomada están suspendidos de un alambre, se procederá de modo que la parte inferior de la plomada toque la superficie del agua y se colocará a cero la aguja indicadora de la profundidad; seguidamente, se sumergirá la plomada hasta que descanse en el lecho del río, y se anotará la profundidad registrada por la aguja. En el caso de corrientes aluvionales, habrá que tener cuidado de que la plomada no penetre en capas sedimentarias poco consistentes.

Para aumentar la precisión de las medidas de profundidad, la plomada sondeadora podrá estar provista de un contacto eléctrico que envíe directamente una señal, tan pronto como la parte inferior de la plomada llegue al lecho del río.

Si la plomada unida a la sonda no pesa lo suficiente para mantenerse perpendicular a la superficie del agua con una precisión de 5°, como mínimo, se medita con un transportador, redondeado el resultado al grado más próximo, el ángulo que forma la sonda con la vertical (θ). El ángulo resultante no debe ser superior a 30°. A continuación se expone el método que debe utilizarse para rectificar la profundidad registrada en función del ángulo de la sonda. No obstante, la precisión de las mediciones puede aumentarse lastrando la sonda con el peso necesario para mantenerla en una posición casi vertical.

La relación entre la profundidad exacta (D) y la profundidad registrada (D'), basada en el ángulo θ medido y en la distancia entre la superficie del agua y el punto de suspensión de la sonda (x), es la siguiente:

$$D = (D' - x(\sec\theta - 1))(1 - k)$$

Los valores de k que se dan en el cuadro 1 están basados en el supuesto de que la presión de arrastre ejercida sobre la plomada en la capa de agua relativamente tranquila próxima al fondo puede despreciarse y de que la sonda y la plomada estan diseñadas de modo que ofrezcan poca resistencia a la corriente. Las incertidumbres de esta estimación son tales, que, si el ángulo que la senda forma con la vertical es superior a 30°, pueden producirse errores significativos.

Cuadro 1.- Factor de corrección k para valores dados de θ.

θ	k	θ	k	θ	k
4°	0,0006	14°	0,0098	24°	0,0296
6°	0,0016	16°	0,0128	26°	0,0350
8°	0,0032	18°	0,0164	28°	0,0408
10°	0,0050	20°	0,0204	30°	0,0472
12°	0,0072	22°	0,0248		

2.4.4.2.4 Medición de la velocidad.

La velocidad se determina en uno o más puntos de la vertical de cada punto de medida del ancho de la sección, contando el número de revoluciones del rotor durante un período de tiempo no inferior a 60 segundos.

En el caso de canales poco profundos, el molinete debe mantenerse en la posición deseada por medio de una varilla de las que se utilizan en los vados, o suspendiéndolo de un cable o de una varilla a partir de un puente, de un cable aéreo o una barca por medio de un alambre o varilla. Cuando se utiliza una embarcación, el molinete debe mantenerse en una posición tal, que no se vea afectada por las perturbaciones de corriente causadas por ésta. Una vez que se haya colocado el molinete en el punto elegido de la vertical, se alineará con la dirección de la corriente, antes de comenzar las mediciones. El ángulo que forman la corriente y la sección de medición deberá medirse observando la posición del molinete cuando se le mantiene inmediatamente debajo de la superficie del agua. Para obtener la velocidad normal de la corriente en la sección de medición, se multiplica por el seno de este ángulo la velocidad medida por el molinete en posición libre.

El número de observaciones verticales de velocidad hechas en cada estación depende de la precisión deseada. La velocidad media en el plano vertical puede determinarse, sin embargo, con cualquiera de los diferentes métodos que se exponen a continuación:

a) Método de dos puntos.

Se hacen observaciones de velocidad a 0,2 y 0,8 del fondo del río. El promedio de los valores representan la velocidad media en la vertical.

b) Método de un solo punto.

Se hacen observaciones de velocidad a una profundidad de 0,6. El valor obtenido representará la velocidad media en la vertical.

c) Método de tres puntos.

Se hacen observaciones de velocidad a profundidades de 0,15, 0,50 y 0,85.

El promedio de los tres valores representará la velocidad media en la vertical.

El método de dos puntos se emplea cuando la distribución de la velocidad es normal, y la profundidad superior a unos 60 cm; el método de un solo punto se emplea en aguas menos profundas. El método de tres puntos se usará para mediciones bajo el hielo, o en canales recubiertos de plantas acuáticas.

Si fuere posible, se determinará la precisión del método de que se trate observando la velocidad en unos 6 o 10 puntos en cada vertical durante las primeras mediciones de gasto hechas en una nueva ubicación.

La velocidad media en la vertical puede medirse directamente empleando un torno especial que sumerja el molinete hasta el fondo y lo saque a la superficie a una velocidad uniforme. La velocidad de descenso o de ascenso del aparato no debe ser superior al 5 por ciento de la velocidad media de la corriente en la sección transversal, y no excederá en ningún caso de 0,04 m por segundo. Con este método, se utilizará un molinete de hélice. No se recomienda su uso para profundidades de menos de 1 metro.

2.4.4.2.5 Cálculo del gasto.

El gasto se calculará aritméticamente (método de sección media o promedio), o gráficamente (método de integración de la curva profundidad-velocidad, o trazado de la curva de velocidad). La elección de cualquiera de ambos métodos depende de la precisión requerida, de la naturaleza de la corriente, y de las condiciones de trabajo, y formación del hidrólogo. Los métodos aritméticos son mucho más rápido y son especialmente útiles para las evoluciones hechas sobre el terreno. Los métodos gráficos son más laboriosos, pero refuerzan en ocasiones la precisión del cálculo y presentan un cuadro más completo de las condiciones de la corriente.

Métodos aritméticos.

La figura 2.4.2 muestra un modelo de hoja de registro de las observaciones hechas sobre el terreno y del cálculo del gasto.

a) Método de la sección media.

Se considera que la sección transversal (figura 2.4.1) está compuesta por cierto número de franjas, limitada cada una de ellas por dos verticales adyacentes. Siendo V_1 la velocidad media en la primera vertical y V_2 la velocidad media en la vertical adyacente, y siendo d_1 y d_2 las profundidades totales medidas en las verticales uno y dos, respectivamente, y b la distancia horizontal entre las verticales, el gasto de una franja será:

$$q = \frac{V_1 - V_2}{2} \quad \frac{d_1 - d_2}{2} \; b$$

Esta operación se repite para cada franja y el gasto total se obtiene sumando el resultado obtenido para cada franja.

b) Método de la semisección.

Para calcular el gasto en cada franja, se multiplicará Vd por el ancho correspondiente medido a lo largo de la línea de superficie. Este ancho representará la suma de la mitad de las distancias entre verticales adyacentes. Puede evaluarse el valor de Vd en los dos medios medios anchos próximos a las márgenes. Con referencia a la figura 1.4.1, el gasto total se calcula como sigue:

$$= d_1 V_1 \frac{b_1}{2} - \frac{b_2}{2} - d_2 V_2 \frac{b_2}{2} - \frac{b_3}{2} - \ldots.$$

Método gráfico

a) Método de integración profundidad-velocidad.

La primera medida consiste en trazar para cada vertical la curva profundidad-velocidad, cuya área representa el producto de la velocidad media por la profundidad total. El valor de este producto en cada vertical se referirá a la línea de superficie entre esta curva y la línea representativa de la superficie del agua será el gasto de la sección transversal.

b) Método basado en la curva de las velocidades.

Sobre la base de las curvas de distribución de velocidad de las verticales, se preparará un diagrama de distribución de velocidad de la sección transversal mostrando las curvas de igual velocidad. Partiendo del máximo, las áreas delimitadas por las curvas de velocidad igual y la superficie del agua se medirá con un planímetro y se transportarán a otro diagrama en el que las ordenadas indicarán la velocidad y las abscisas el área correspondiente. La superficie inserta en la curva velocidad-área representa la descarga de la sección transversal.

2.4.4.2.6 Nivel correspondiente.

El nivel y el tiempo correspondientes se anotarán a intervalos regulares, de modo que puedan identificarse segmentos de la descarga total en función del tiempo y del nivel. Corrientemente, puede utilizarse el nivel existente hacia la mitad de las mediciones como el que corresponde al gasto medido. No obstante, si el nivel no variara linealmente en función del tiempo, deberá utilizarse el siguiente procedimiento de ponderación, en el que H es el nivel ponderado, q_1 y q_2 son gastos parciales correspondientes a H_1, H_2, y Q es el gasto total.

$$H = \frac{q_1 H_1 - q_2 H_2 - \ldots.}{Q}$$

2.4.4.2.7 Precisión de las mediciones del gasto.

La precisión de estas mediciones depende de la exactitud del contador, de las condiciones del río y del número de observaciones de velocidad y profundidad que se hayan efectuado. Si las condiciones de medición son ideales, y se hacen numerosas observaciones de profundidad y de velocidad, el error probable es de 1 %, aproximadamente.

Las mediciones se hacen normalmente registrando la profundidad y la velocidad en 2 puntos de 20 o 25 verticales de la sección transversal. El error probable de este tipo de mediciones efectuadas en condiciones normales es del 5 %, aproximadamente.

2.4.4.3 Medición del gasto por el método del flotador.

Se utilizará este método cuando sea imposible emplear un molinete debido a velocidades o profundidades inadecuadas o a la presencia de materiales en suspensión.

2.4.4.3.1 Elección de secciones.

Deberán seleccionarse tres secciones transversales en un tramo recto de canal. La separación entre las secciones transversales debe ser lo suficientemente amplia para que pueda medirse con precisión el tiempo necesario para que el flotador pase de una sección transversal a la siguiente. Se recomienda un lapso de 20 segundos, aunque podrán emplearse intervalos más breves en el caso de ríos pequeños en que la corriente sea muy veloz, en los que a menudo es imposible seleccionar un tramo recto de canal de la longitud adecuada.

2.4.4.3.2 Flotadores.

Pueden utilizarse flotadores de superficie o flotadores de varilla. Los flotadores de superficie son los que se sumergen a una profundidad inferior a la cuarta parte de la profundidad del río. No deberán emplearse flotadores de superficie cuando se tema que la medición puede verse afectada por el viento. Los flotadores de varilla son aquellos cuya profundidad de inmersión es superior a la cuarta parte de la profundidad del río. Los flotadores de varilla no deben rozar el lecho del canal. En los períodos en que las maniobras en el río puedan ser peligrosas, se pueden emplear como flotadores naturales árboles o fragmentos de hielo.

2.4.4.3.3 Procedimientos de medida.

Los flotadores deben distribuirse de manera uniforme a todo lo ancho de la corriente y su número mínimo debe oscilar entre 15 y 25. En lo que respecta a los flotadores naturales, deberán observarse 20 como mínimo en diversas posiciones a través del río durante el mayor espacio de tiempo posible. Es preciso repetir algunas mediciones, ya que cabe que algunos de los flotadores toquen el fondo.

El flotador deberá lanzarse a suficiente distancia aguas arriba de la sección transversal superior para que pueda alcanzar una velocidad constante antes de llegar a la primera sección transversal. El momento en que el flotador atraviese cada una de las tres secciones transversales se registrará por medio de un cronómetro. Este procedimiento se repetirá con los flotadores empleados en cada franja. La distancia entre el flotador y la orilla al paso de cada una de las secciones transversales puede determinarse por medios ópticos adecuados, por ejemplo con un teodolito.

La profundidad del lecho del canal en diversos puntos de la sección transversal puede determinarse por los procedimientos expuestos en la sección 1.4.3.3 o por métodos topográficos.

2.4.4.3.4 Cálculo de la velocidad.

La velocidad del flotador es igual a la distancia que separa las secciones transversales dividida por el tiempo invertido en recorrerlas. La velocidad media de flujo en el interior de la franja es igual a la velocidad del flotador multiplicada por un coeficiente basado en la forma de la curva de velocidad vertical y en la profundidad relativa de inmersión del flotador. El coeficiente que debe aplicarse a la velocidad medida del flotador, se determinará en lo posible para cada ubicación por medio de un análisis de las mediciones del gasto efectuadas por el método del molinete. Cuando no se disponga de tales mediciones, y no se requiera una precisión elevada, podrá aplicarse un coeficiente (R) del siguiente cuadro, que permita hacer una estimación aproximada. Los coeficientes enumerados a continuación son funciones de R, que representa la relación entre la parte sumergida del flotador y la profundidad del agua.

R	coeficiente
0,10 o menos	0,66
0,25	0,88
0,50	0,90
0,75	0,94
0,95	0,98

Si se emplean flotadores naturales, deberá registrarse su velocidad en función de la distancia a que se encuentran de la orilla, lo que permitirá determinar la velocidad media en la superficie a través del río. La velocidad media de la corriente en la sección transversal es igual a la velocidad media en la superficie multiplicada por un coeficiente K, cuyo valor se deducirá, si fuere posible, de las mediciones precedentes hechas con un molinete para gastos más reducidos.

El valor de K varía aproximadamente de 0,75 a 0,85 para aguas poco profundas y corrientes más bien lentas. En el caso de canales profundos y planos, con velocidades superiores a 2 metros por segundos, los valores de K pueden oscilar entre 0,90 y 0,96. En el caso de desbordamiento o tratándose de canales poco homogéneos, la sección transversal se dividirá en varias partes y se aplicarán valores diferentes de K.

2.4.4.3.5 Cálculo del gasto.

El gasto de cada franja se calcula multiplicando la superficie media de la sección transversal de la franja por la velocidad media de la corriente en la misma franja. El gasto total será, pues, igual a la suma del gasto en las diversas franjas.

2.4.5 Medición del gasto por el método de la dilución.

La medición del gasto de las corrientes por este método está basado en la determinación del grado de dilución en el agua del río de una solución trazadora. El empleo de este método se recomienda únicamente en los lugares en que no pueda recurrirse a métodos convencionales, debido a la poca profundidad de la corriente, a su excesiva velocidad o a la importancia de la turbulencia. Para las mediciones de gasto pueden emplearse principalmente dos métodos en los que intervengan sustancias trazadoras: el basado en la inyección de la sustancia a un ritmo constante, y aquel en que la solución se inyecta de una sola vez. Las condiciones generales aplicables a ambos métodos son las mismas.

2.4.5.1 Condiciones generales.

Se vierte en la corriente una solución de un elemento químico estable o radiactivo, a un ritmo constante o de una sola vez. La solución se diluirá en el río por efecto de la descarga de la corriente. La medición del ritmo de inyección de la sustancia, de la concentración de la solución inyectada en el punto de inyección, y de la concentración en una sección transversal situada aguas abajo del punto de inyección (sección de muestreo) permite calcular el gasto de la corriente. La precisión de este método depende en particular:

a) De que la solución inyectada se dibuja completamente en toda la sección transversal del río antes de llegar a la sección de muestreo. Si la solución trazadora se inyecta en forma continua, la concentración de esta solución deberá ser constante en toda la sección de medida. Si el elemento trazador se inyecta de una vez, $\int c\,dt$ deberá ser la misma en todos los puntos de la sección; en esta fórmula c es la concentración y T el momento en que toda solución pasa un determinado punto de la sección. Antes de elegir definitivamente la ubicación de la sección de medida, deberán verificarse estos criterios. Cabe señalar, a título de orientación únicamente, que la distancia L requerida entre el lugar en que se inyecta el producto y la sección de muestreo deberá ser:

$$L = 0{,}13\ c\ \frac{(0{,}7c - 6)}{g}\ \frac{b^2}{h}\ \text{(unidades métricas)}$$

donde

b = ancho medio de la sección transversal mojada
h = profundidad media de la corriente.
c = coeficiente Chezy para el tramo: 15 < c < 50
g = aceleración de la gravedad.

b) De que los materiales, sedimentos, plantas u organismos depositados en el lecho del río no absorban la sustancia trazadora, y de que ésta no se descomponga en el agua de la corriente. La concentración deberá determinarse en la sección de muestreo, y como mínimo en otra sección transversal situada aguas abajo, a fin de asegurarse de que no existe una diferencia sistemática en la concentración media entre una y otra sección de muestreo.

2.4.5.2 Trazadores y equipo de detección.

Puede utilizarse como trazador cualquier sustancia, a condición de que:

a) Se disuelva rápidamente en el río a una temperatura normal;
b) No se encuentre normalmente en el agua del río o esté presente sólo en cantidades ínfimas;
c) No se descomponga en el agua del río, ni sea retenida o absorbida por sedimentos, plantas u organismos;
d) Pueda ser detectada (concentración) por métodos sencillos;
e) Sea inofensiva para el hombre y para los animales en el grado de concentración que alcance en la corriente;
f) Sea barata.

2.4.5.2.1 Cloruro de sodio.

La sustancia trazadora más económica es la sal común. Cuando el trazador se inyecta instantáneamente en la corriente, la cantidad requerida no es muy importante, y su detección por métodos de conductividad es relativamente sencilla.

2.4.5.2.2 Bicromato de sodio.

El bicromato de sodio se usa extensamente en el método de dilución. Su solubilidad en el agua es relativamente elevada (1,65 Kg por kg de agua a 0°C, y 2,06 Kg por Kg de agua a 20°C), y la sal satisface la mayor parte de las condiciones indicadas en la sección 2.4.5.2. El análisis colorimétrico permite medir concentraciones muy reducidas de bicromato de sodio.

En la referencia 1, se hace una completa descripción del análisis colorimétrico.

2.4.5.2.3 Elementos radiactivos.

Con el método de dilución, se han utilizado elementos radiactivos tales como el oro 198 y el sodio 24. Las concentraciones de estos elementos del orden de hasta 10^{-9} pueden determinarse exactamente con un contador o un dosímetro, cuya sonda detectora esté suspendida sobre la corriente o en un tanque contador normalizado. Aunque los elementos radiactivos constituyen trazadores ideales para el método de dilución, es posible que los peligros que presentan para la salud limiten su utilización en ciertas localidades.

2.4.5.3 Cálculo del aforo o gasto.

Las ecuaciones usadas para calcular el aforo de una corriente (Q) están basadas en el principio de la continuidad del trazador.

$$Q = q\frac{C}{c} \quad \text{(inyección continua)}$$

$$Q = \frac{CV}{\int_0 c\,dt}$$

donde

q = gasto de inyección de la solución
C = concentración de la solución inyectada.
c = concentración en el agua en la sección de muestreo
V = volumen de la solución inyectada.
t = tiempo.

Si se cumplen las condiciones generales requeridas por este método, la precisión del aforo dependerá de la medición de C en relación con c. Esta medición puede hacerse normalmente con una precisión del 1 %, a condición de que una muestra de la solución inyectada sea diluída por un volumen de agua conocido, de modo que C = c y que ambas concentraciones se midan entonces exactamente de la misma manera.

2.4.6 Cálculo del derrame.

Basándose en un registro de nivel y en la relación nivel-gasto, puede establecerse un registro continuo del flujo en una estación aforadora. El resultado final del cálculo es una tabulación del gasto medio diario, mensual y anual. La tabulación deberá incluir, además, una lista de los gastos máximos instantáneos.

2.4.6.1 Curvas nivel-gasto.

La relación nivel-gasto se determina registrando en abscisa el gasto medido y en ordenadas el nivel correspondiente. La forma de la curva es función de la disposición geométrica del canal. La relación es generalmente cóncava en sentido descendente, en el caso de coordenadas rectilíneas; con niveles medios y elevados, se aproxima a una línea recta en coordenadas logarítmicas. Esta relación se emplea en una forma gráfica o tabular, ya que, por lo general, no puede expresarse en una fórmula matemática.

Los puntos se desviarán de la relación media debido a errores de aforo, a variaciones en la geometría del canal, a las fluctuaciones del flujo, o a variaciones ocasionales del nivel de los afluentes. La definición de la curva se considera excelente si se dispone de mediciones de aforo para toda la gama de niveles y si la desviación máxima de la curva no excede del 5 %.

Las variaciones que se producen en el tramo de control como consecuencia del arrastre o aportación de sedimentos motivarán variaciones equivalentes de la curva nivel-gasto. Para determinar la posición de la curva, es necesario efectuar aforos a intervalos periódicos.

2.4.6.2 Cálculo de alturas medias del nivel.

La altura media diaria del nivel puede determinarse en base de los datos del registrador por medios gráficos. Para ello, se coloca una hoja transparente en la que se ha trazado una línea recta con graduaciones sobre la curva de nivel, como se indica en la figura 2.4.3. Equilibrada visualmente la zona A con la zona B, se lee el nivel medio diario en la intersección de la línea graduada con la línea de mediodía de la escala de tiempo.

Si la gama de valores de gasto correspondientes a un día es demasiado amplia, no puede calcularse el gasto medio diario por el método de la altura media diaria, debido a la curvatura de la relación nivel-gasto. En este caso, el día se subdivide en períodos más breves, calculándose la altura media correspondiente a cada uno de ellos.

La gama de valores de nivel que puede admitirse sin subdivisión para un día u otro período de tiempo es función de la curvatura de la relación nivel-gasto. Conviene preparar ábaco que muestre la gama de valores de nivel admisible sin subdivisión para un error máximo del 3 %. Este ábaco puede servir en caso necesario para subdividir el día en períodos de tiempo más breves.

2.4.6.3 Cálculo del gasto promedio.

El gasto promedio de cada día o de cada período de tiempo más breve se calcula sobre

la base del nivel promedio y de la relación nivel-gasto. El gasto medio diario correspondiente a días subdivididos se calcula entonces como una media de tiempo ponderada del gasto para períodos más breves. Los gastos diarios se tabulan por fechas, y sirven para calcular el gasto medio mensual y anual.

2.5 Temperatura del agua.

2.5.1 Generalidades.

2.5.1.1 Finalidad de las mediciones de la temperatura del agua.

La temperatura de los lagos y de las corrientes se observa con frecuencia con fines hidrológicos y limnológicos. Estas observaciones se utilizan ampliamente en relación con técnicas de muestreo y con estudios especiales. Las observaciones son también sistemáticas y continuas. Las mediciones de temperatura son un requesito indispensable para determinar:

a) la evaporación en lagos (y atmómetros) cuando se emplean fórmulas empíricas en las que interviene la temperatura del agua;
b) la acumulación de energía en un lago diaria o anual;
c) la formación y desintegración de capas de hielo;
d) la formación de cristales de hielo en las corrientes de agua;
e) las condiciones de estabilidad de lagos y corrientes;
f) los componentes químicos del agua de los lagos.

La temperatura, junto con la radiación, las corrientes y la concentración de sustancias químicas es uno de los factores que ejercen una influencia sobre la vida orgánica acuática. La temperatura es de por sí un factor importante, pero es también un factor necesario para la determinación de los diferentes elementos químicos de interés limnológico (por ejemplo, saturación de oxígeno).

2.5.1.2 Condiciones de temperatura de los lagos.

Las mediciones sistemáticas de temperatura en los lagos durante el verano muestran la existencia de estratos térmicos. La gama vertical de temperaturas puede dividirse en las siguientes partes:

a) El epilimnion, capa de agua tibia con una temperatura casi constante, que va desde la superficie hasta un cierto límite, a partir del cual el decrecimiento de la temperatura y el gradiente vertical de ésta aumenta rápidamente. Este límite varía principalmente en función de la configuración del lago y de la estación. El epilimnion es asiento de numerosas mezclas.

b) El hipolimnion, capa de agua fría que se extiende desde el fondo hasta un punto en que aumenta rápidamente el gradiente vertical de temperatura.

c) El metalimnion (Sprungschicht), que se define como la capa situada entre el epilimnion y el hipolimnion, en la que el gradiente vertical de temperatura es suficientemente elevado para impedir la mezcla del epilimnion con el hipolimnion. Los límites del metalimnion pueden definirse aproximadamente como los niveles en los que la curvatura del perfil temperatura/profundidad alcanza un máximo.

La termoclina, que se define como el nivel en el que la segunda derivada de la curva temperatura/profundidad es igual a cero,

$$\frac{d^2T}{dZ^2} = 0 \quad ,$$

nivel situado dentro del metalimnion.

d) En el fondo del lago, las corrientes están sometidas a la influencia ejercida por su fricción. En esta capa prevalecen condiciones especiales de temperatura y de corriente. El comportamiento de los componentes químicos es también especial.

e) En el subsuelo del lago, existen condiciones de temperatura similares a las observadas en la superficie de la tierra cuando se halla expuesta al aire libre.

En la estación invernal, se invierten las condiciones de temperatura del lago, encontrándose el agua fría en el epilimnion y el agua caliente en el hipolimnion.

Cuando se determinan las condiciones de temperatura en cierto punto del lago, por ejemplo, mediante la medición de la temperatura a intervalos iguales de profundidad, la curva resultante de los valores obtenidos se denomina la vertical térmica, que muestra las principales características del epilimnion, del metalimnion y del hipolimnion.

La medición de varias verticales térmicas a intervalos horizontales constantes permite obtener el cuadro de temperaturas, con el cual se calcula la temperatura media del lago y otros valores conexos.

2.5.1.3 Precisión requerida.

Los termómetros acuáticos son mecánicos o eléctricos. Están diseñados para la realización de mediciones "punto por punto" o continuas.

Los tipos más corrientes de termómetros acuáticos son los siguientes:

Para mediciones "Punto por punto":

Termómetros de mercurio en tubos de vidrio;

Termómetros para agua profunda;
Termómetros encapsulados;
Termómetros eléctricos con puente;
Termómetros eléctricos con indicador.

Para medicones continuas:

Terógrafo encapsulado;
Termógrafo de mercurio en tubo de acero;
Batitermógrafo;
Registrador eléctrico de la temperatur vertical;
Termómetro eléctrico con registrador.

La elección de un termómetro acuático adecuado a los fines que se persiguen depende de numerosos factores, por lo que no pueden darse indicaciones concretas sobre el particular. Se concederá especial atención a la precisión deseada en las mediciones. En la lista a continuación se dan algunos datos sobre la precisión necesaria en diferentes casos. Esta lista no es en modo alguno completa.

Precisión inferior a 0,3 °C:

Variación anual de la temperatura de lago en una sola estación.
Determinación de la temperatura del agua de los tanques.
Determinación de la temperatura de lago para el cálculo de evaporación.
Factores limnológicos.

Precisión de 0,3 a 0,03 °C:

Estudios generales de la temperatura del agua
Acumulación de energía.
Formación y desintegración de capas de hielo
Factores limnológicos.

Precisión superior a 0,03 °C:

Mediciones de temperatura para el cálculo del gradiente de temperatura del epi-
Formación de cristales de hielo. (limnion.

2.5.2 Instrumentos empleados para las mediciones "punto por punto".

Puede hacerse una observación en un punto insertando el termómetro en el nivel deseado y registrando la indicación termométrica inmediatamente o en un momento ulterior. En este último caso, debe emplearse algún mecanismo que vaya registrando los valores de temperatura.

Fig. 2.1.1

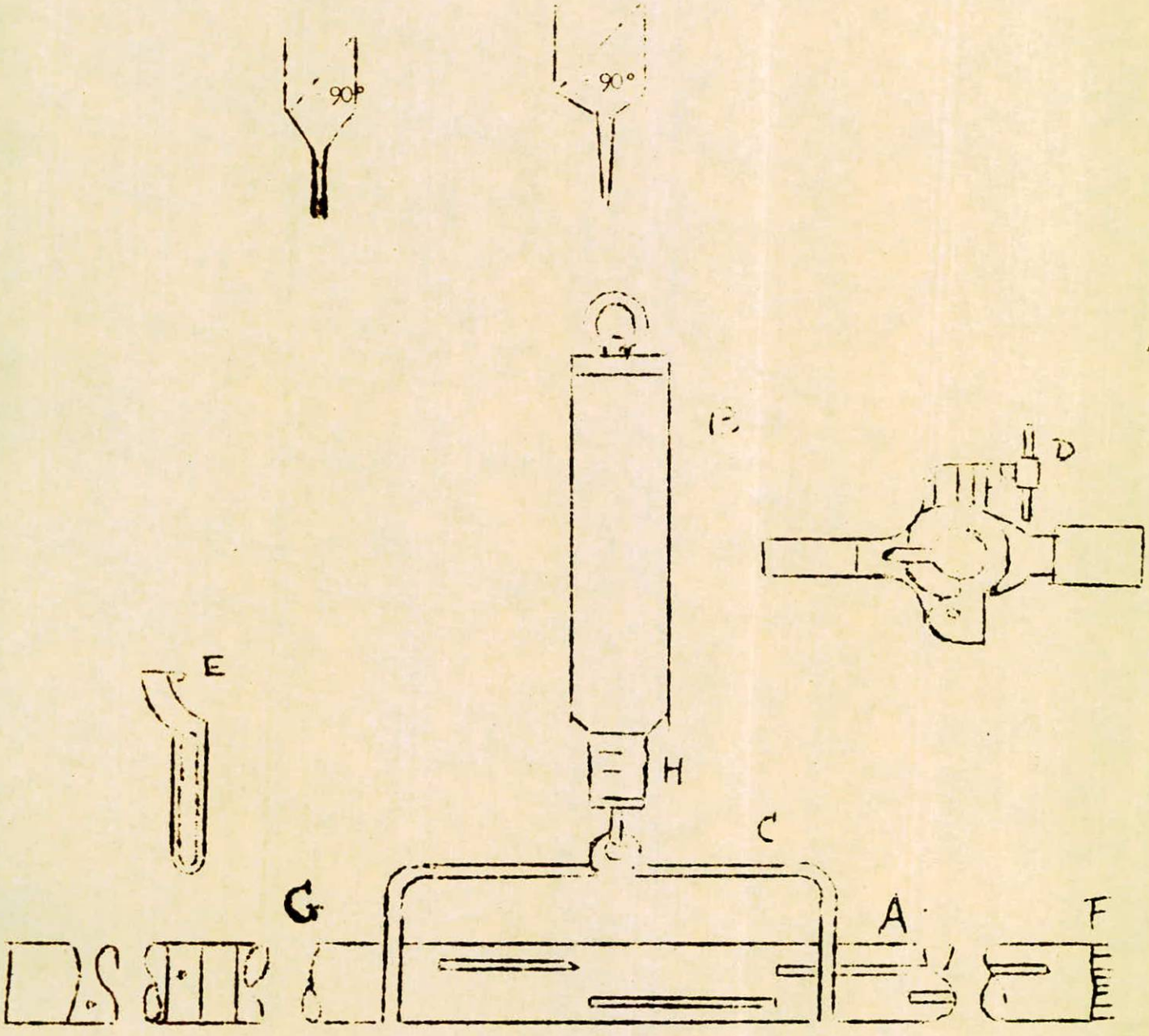


Fig. 2.2.1.- Snow-sampling equipment: (A) snow-sampling tube; (B) tubular spring balance; (C) cradle; (D) driving wrench; (L) spanner wrenches; (F) cutter; (G) screw coupling; (H) scale.

ppareil de prélevement: (A) tube; (B) dynamometre; (C) berceau; (D) clé a collier; (E) clé a tenons; (F) couteau; (G) raccords filetés; (H) échelle. graduée.

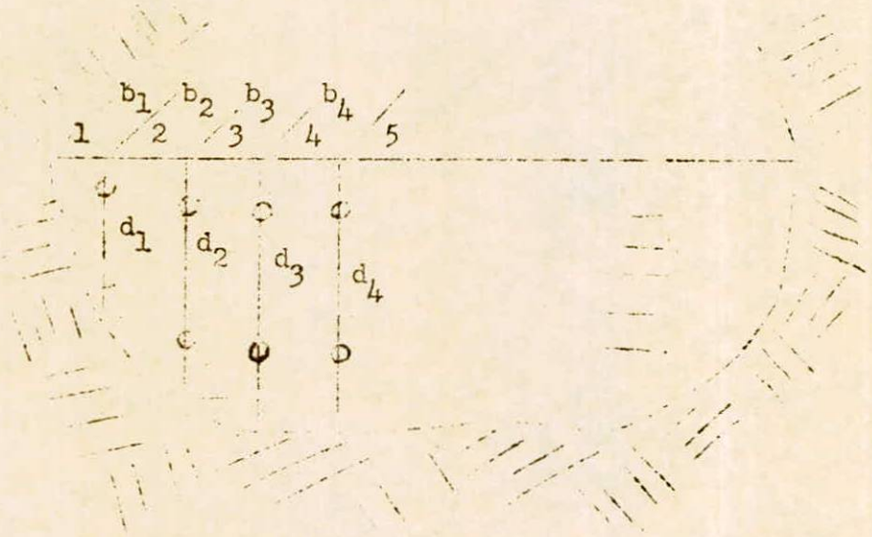


Figure 2.4.1- View of a stream cross section showing location of points of obseration.
Section d'une riviere montrant l'emplacement des points de mesure.

.0	.10	.20	.30	.40	.50	.60	.70	.75	
Angle coeficient	Dist. from initial point	Width	Depth	Observation depth	Revolutions	Time in seconds	Velocity: At point	Velocity: Mean in vertical	Adjusted for hor. angle or	Area	Discharge	.80
												.85
												.90
												.92
												.94
												.80
									.60	.70	.75	

Figure 2.4.2 Sample of discharge measurement notes
Modèle de feuille de relevéet de calcul des mesures de débit.

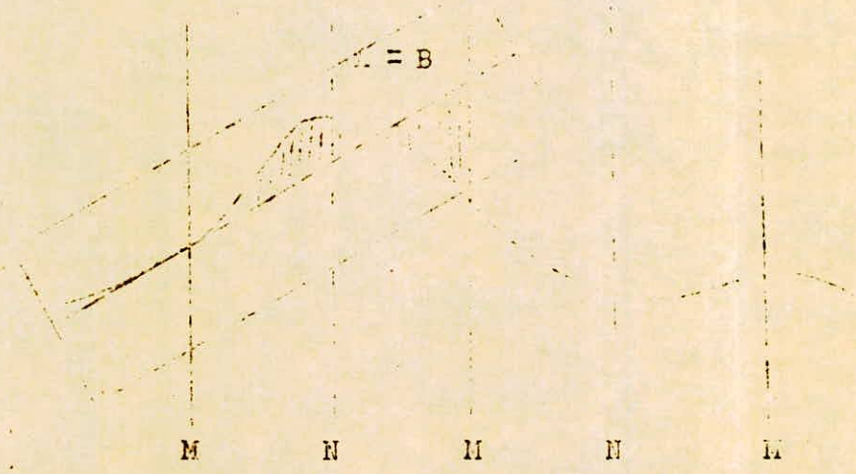


Fig.2.4.3 - Graphical method of determining mean daily gauge height.
Méthode graphique pour la détermination de la hauteur moyenne journalière

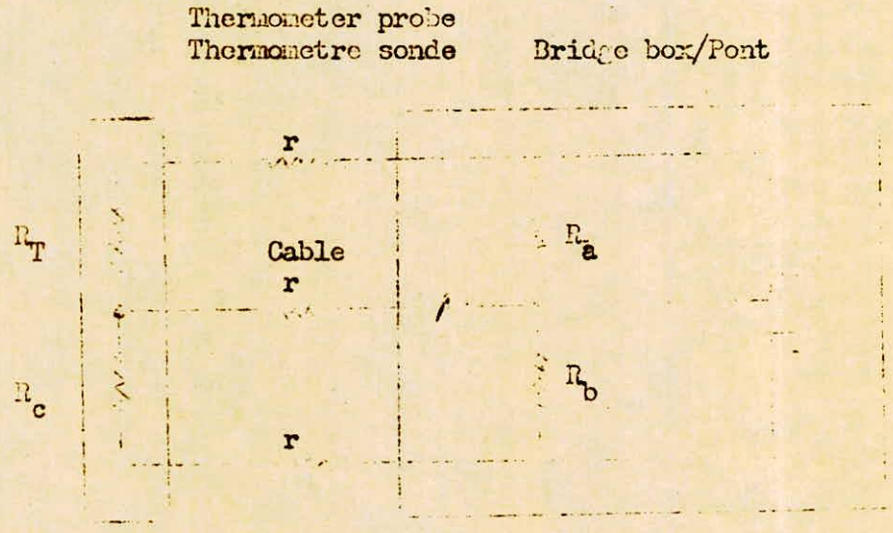


Fig. 2.5.1 - Mareen - Thipple bridge circuit
Circuit de pont Warren-Thipple.

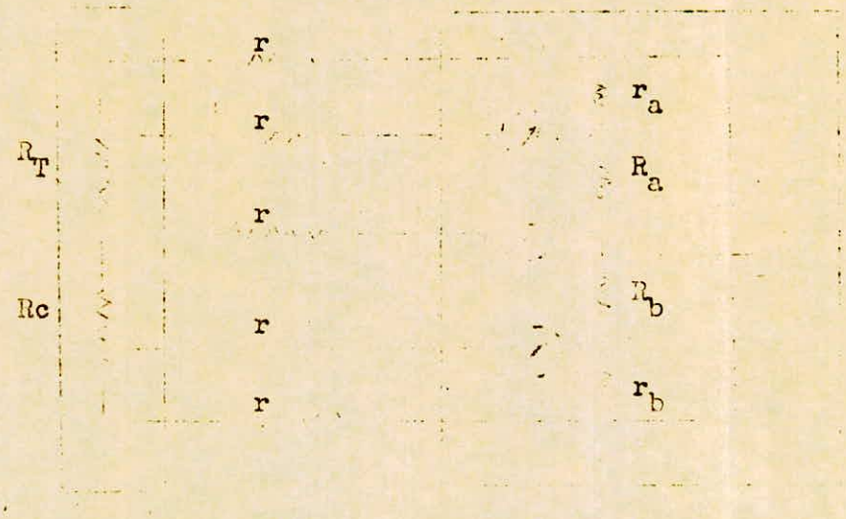


Fig. 2.5.2 - Augmented Warren - Thipple bridge circuit
Circuit de pont "augmenté" Warren-Thipple

B I B L I O G R A F I A

In Spanish

1) Saltos de agua y Presas de Embalse - por José Luis Gómez Navarro y José Juan Aracil.
2) Instructivo para Aforo de Corrientes - Secretaría de Recursos Hidráulicos. Dirección General de Hidrología, Mexico. D.F.
3) La observación meteorológica - por Antonio Goldbrunner. Servicio de Meteorología y Comunicaciones de las Fuerzas Aéreas, Maracay, Venezuela.
4) Instrumentos meteorológicos - por Antonio Goldbrunner.
5) Operación de Estaciones Climatológicas - Secretaría de Recursos Hidráulicos. Dirección General de Hidrología, Mexico. D.F.
6) Instructivo para Estudios de Azolves - Secretaría de Recursos hidráulicos. Mexico.

In French

1) Perlat A. et Petit M. - Mesure en Metéorologie. Monographies de Météorologies, Gauthier - Villars, París. 1961.
2) Roche M - Hydrologie de Surface. Gauthier - Villars, París. 1963.
3) Ménéniéras G. - L'Hydrologie e l'Ingenieur. Eyrolles, París.

In English

1) Bellaire, F.R. and Anderson L.I. - Thermocouple Psychrometer for Field Measurements. Am. Meteorological Soc. Bul.v.32, N°.6 p.217-220. 1951
2) Mortimer, C.H. - A review of temperature measurement in Limnology. Mitt.int. Ver.Limnol. (Nº 1.1953
3) Nybrant, G. - Temperature measurments in lake and rivers performed by the Meteorological and Hydrological Institute of Swoden. Pub.Nº 38 d l'Ass. Inst.d'Hydrologic. 1954
4) U.S/ Geological Survey - Water-loss investigation: Volume 1 - Lake Hefner Studies, Geological Survey Prof. Paper Nº 269. (A reprint of U.S. Geo. Survey Cir.229, 1952)

Standards for method and records of hydrologic measurement, Flood Control Series Nº 6, United Nations, N.Y. U.S.A. 1954

5) Kohler, M.A., Nordenson, T.I., and Fox, W.E. - Evaporation from pan and lakes. U.S. Weather Bur. Research Paper Nº 38. 1955
6) Rider, N.E. et al - Suitability of instruments for the measurement of soil moisure. WMO technical Note Nº 21, Geneva, p.30-35 1958
7) Rodskjer, N. and Torsell, B. - Intergrating with thermocouples the mean temperature of a space. The Annals of the Royal Agricultural College of Swoden, Vol.24. 1958.
8) Bottan, Louis - Radar meteorology. Chicago Univ.Press., U.S.A. 1959.
9) Haeggblom, L.E. - A thermistor thermometer which reads to the nearest 0,01 °C in the field.Mitt. Ver. Limnol. Nº 10. 1959.
10) U.S. Soil Conservation Service - Snow survey sampling guide. U.S. Department of Agriculture. Soil Conservation Service Agricultural Handbook Nº 169.
11) WMO - Use of ground-based radar in meteorology. Technical Note. Nº 27, WMO Nº 84, TP 35. 1959.
12) WMO - Guide to meteorological instrument and observing practices, Chapter 7. 1961
13) Corbett, Don M. - Stream gaging procedure. U.S. Geological Survey Water Supply. Paper 888, Washington, D.C. 1962
14) ISO/TC 30/SC1 - Liquid flow measurementes in open channels-velocity area method. International Standards Organization publication (in draft form) 1962
15) ISO/TC 30/SC1 - Liquid flow measurments in open channels - dilution method. International Standards Organizations publication (indraft form)
16) Johnson, A.I. - Methods of measuring soil moisture in the field, U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1619 - U. Washington.
17) U.S. Weather Bureau - Instructions for climatological observers. Circ B,

Río en .....

Coeficiente angular	Distancia desde punto inicial	Ancho	Profundidad	Observaciones de profundidad	Tiempo en segundos	Velocidad en el punto de medida	Velocidad media en la vertical	Corrección de ángulo horizontal	Area	Gasto

Figura 2.4.2 - Modelo de hoja de registro de observaciones y de cálculo del gasto.

BIBLIOTECA IREN