

do de esto, había cierta uniformidad en las técnicas de medición, unidades e intervalos, y se obtenían datos de calidad bastante alta.

Figura 4 – Profundidad de la penetración de las precipitaciones en el suelo, entre el 5 y el 8 de abril de 1738. La unidad de longitud empleada es el *tsun* (3,2 cm).

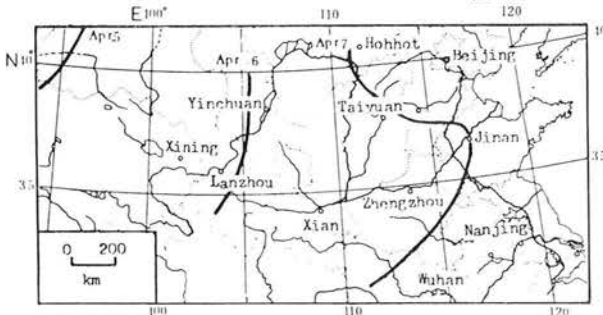
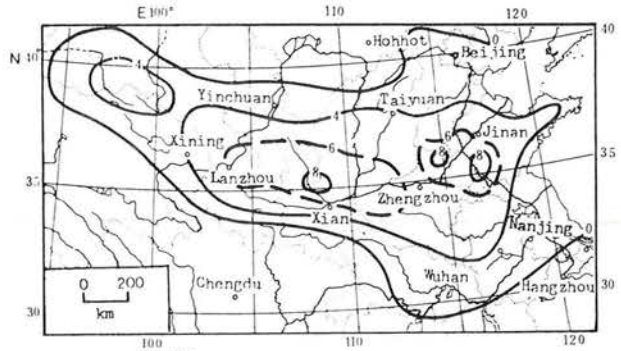


Figura 5 – Mapa mostrando la fecha de comienzo de las precipitaciones entre el 5 y el 8 de abril de 1738.

(Las designaciones empleadas y la presentación del material en estos mapas no implican la expresión de cualquier opinión al respecto por parte de la Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial en relación con la situación oficial de cualquier país, territorio, ciudad o comarca, o de sus autoridades, o con referencia al trazado de sus fronteras o límites).

En Francia no se organizó una red nacional de observaciones hasta 1778, es decir, 42 años después de haber empezado en China las actividades que se acaban de mencionar. Y si en 1820 Brandes trazó el primer mapa meteorológico basado en informaciones recogidas en 1783, los datos chinos se anticipan en 47 años.

Los autores quieren agradecer al Profesor Yeh Tu-cheng y al Profesor Huang Ping-wei su consejo y estímulo.

REFERENCIAS

1. LAMB, H.H. (1977). *Climate. present, past and future*. Volumen 2. (El Clima. presente, pasado y futuro). Methuen & Co., Londres. p. 26.
2. WADACHI, K (1974). *Encyclopedia of Meteorology* (Enciclopedia de Meteorología). Tokyo-do Publishing Co., Tokyo, págs. 379 & 492.

RECONOCIMIENTOS METEOROLOGICOS POR LOS AVIONES WC-130 DE LAS FUERZAS AEREAS ESTADOUNIDENSES

Por R.S. Henderson *

El 27 de julio de 1943 el Comandante Joe Duckworth acompañado de un navegante

* El Capitán Henderson de la U.S. Air Force está destinado en el Cuartel General de la 1st. Weather Wing de la Hickam AFB, Hawaii.

despegó en una avioneta de entrenamiento AT-6 Texan y se dirigió al centro de un huracán. Más tarde, el mismo día, repitió la aventura con un meteorólogo en el lugar del navegante. Desde esta hazaña se ha desarrollado uno de los más largos, continuados y humanitarios esfuerzos de la U.S. Air Force, las denominadas misiones de reconocimiento de ciclones tropicales por las unidades de reconocimiento meteorológico de la Fuerza Aérea.

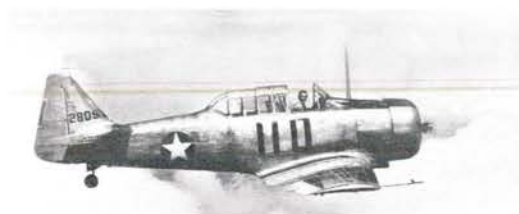


Figura 1 – Avión AT-6 Texan del tipo empleado en la primera misión oficial en el ojo de un huracán, en 1943. (Fotografía oficial de las F.A. de los EE.UU.)

Dos escuadrillas del Military Airlift Command realizan misiones que van desde el reconocimiento de ciclones tropicales a operaciones de modificación artificial del tiempo. El énfasis en las anteriores misiones se refleja en el sobrenombre con que se conoce a estas unidades. Así, el 54th Weather Reconnaissance Squadron de la Anderson Air Force Base (AFB) en Guam (Islas Marianas) es conocido como *Typhoon Chasers* (Cazadores de Tifones), y el 53rd Weather Reconnaissance Squadron de la Keesler AFB (Mississippi, U.S.A.) es conocido como *Hurricane Hunters* (Cazadores de Huracanes). Otra escuadrilla, el 55th Weather Reconnaissance Squadron de la Mc Clellan AFB (California, U.S.A.) que utiliza aviones Boeing WC-135 primordialmente en misiones de muestreo atmosférico. La U.S. Air Force Reserve, tiene una tercera escuadrilla de WC-130 el 815th Weather Reconnaissance Squadron de la Keesler AFB como parte del 403rd Rescue and Reconnaissance Wing (Ala de reconocimiento y salvamento n° 403).

La principal misión de la U.S. Air Force de reconocimiento meteorológico es situar en la atmósfera una plataforma equipada con sensores meteorológicos en el momento, lugar y altitud requeridos por el “usuario”, recoger datos de acuerdo con las necesidades de dicho usuario y transmitir estos datos en forma cifrada para que se puedan utilizar.

Durante una década se han utilizado versiones especialmente modificadas del conocido avión Lockheed Hercules C-130 para las escuadrillas de reconocimiento meteorológico. Los *Typhoon Chasers* y los *Hurricane Hunters* utilizan el tipo denominado WC-130E y WC-130H y el 815th el WC-130H (ver figuras 2 y 3). El WC-130 es un cuatrimotor monoplano de ala alta, con tren de aterrizaje retráctil y totalmente metálico. Sus motores son Allison T-56, turbopropulsado por 4 turbohélices de impulsión reversible por encima de 1.300 rpm.

Los sensores meteorológicos son transportados para la medida de parámetros atmosféricos al nivel de vuelo del avión y para la realización de sondeos por debajo de dicho nivel. Son generalmente denominados “horizontal metsystem” y “vertical metsystem” respectivamente. Se utilizan equipos adicionales para misiones especializadas. Para operaciones de muestreo atmosférico el WC-130 puede transportar sistemas particulares de muestreo o un equipo de muestreo completo de los gases atmosféricos con sistemas de instrucción y control. Pueden ser instalados aparatos especiales para actividades de modificación artificial del tiempo tales como disipación de nieblas frías o siembra de nubes.

La parte más importante del sistema de reconocimiento meteorológico de la US Air Force WC-130 y la que da la necesaria flexibilidad para un amplio campo operacional,



Figura 2 Avión WC-130E de los Cazadores de Tifones en la BFA de Anderson, en las Islas Marianas

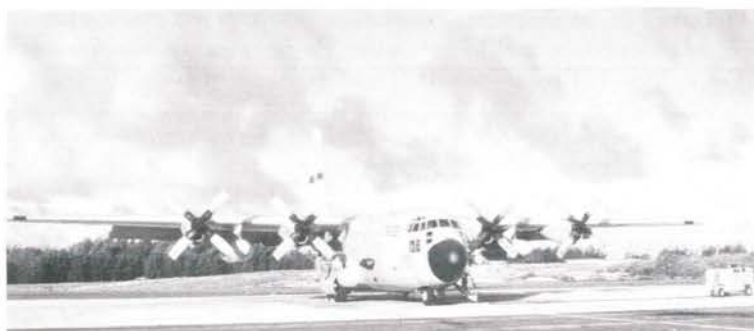


Figura 3 – Avión WC-130H de la Fuerza de Reserva Aérea de EE.UU. en la BFA de Keesler, EE.UU.

es la tripulación. Está básicamente formada por un piloto (comandante del avión), un copiloto, un mecánico y un navegante junto con los expertos en meteorología denominados Aerial Reconnaissance Weather Officer (ARWO) y un Dropsonde System Operator (DSO) lanzador de radiosonda con paracaídas. El ARWO está principalmente encargado de la coordinación de esfuerzos de la tripulación para cumplir la misión encomendada y también maneja el horizontal metsystem que proporciona las observaciones al nivel de vuelo. El DSO usa el vertical metsystem para realizar los sondeos atmosféricos, pero también se ocupa de una amplia variedad de otros servicios a bordo.

Adquisición, difusión y precisión de los datos

Los datos meteorológicos obtenidos en las misiones de reconocimiento meteorológico se dividen en dos categorías: los datos medidos con el horizontal metsystem junto con los parámetros estimados subjetivamente por el ARWO, y los datos recogidos utilizando el vertical metsystem. Los datos horizontales son transmitidos en varios formatos y con variados contenidos dependiendo de los requerimientos de cada misión. Los datos habitualmente transmitidos incluyen:

- Posición (latitud y longitud).
- Hora.
- Velocidad y dirección del viento al nivel de vuelo (usando el sistema Doppler de navegación).
- Turbulencia.

- Condiciones de vuelo (nubosidad aproximada por encima y por debajo del nivel de vuelo o intervalo de tiempo de vuelo en nubes a dicho nivel).
- Altitud absoluta (usando radio altímetro y radar altímetro).
- Temperatura y punto de rocío al nivel de vuelo.
- Tiempo presente (precipitación, calima, bruma, niebla, etc.).
- Altura de las superficies isobáricas standard o la presión al nivel del mar (calculada a partir de la altitud absoluta y el dato de presión altitud).
- Nubes, incluyendo número de capas, cantidad en cada capa, tipo y altitud de la base y cima de cada capa.
- Velocidad y dirección del viento en superficie.
- Englamamiento.
- Tiempo significativo observado a lo largo del vuelo.
- Cambios en el tiempo significativo observado a lo largo del vuelo.
- Datos del radar.
- Visibilidad al nivel de vuelo.
- Temperatura superficial del mar (usando un preciso termómetro de radiación).

El ARWO prepara las observaciones horizontales usando: los datos procedentes del horizontal metsystem, los datos de posición y viento en el nivel de vuelo suministrados por el navegante y sus propias estimaciones sobre elementos tales como viento en superficie, nubes, grado de englamamiento, condiciones de vuelo y otros parámetros.

El radiosonda con paracaídas, no recuperable, lanzado para obtener los datos verticales es de forma cilíndrica, aproximadamente de 45 cm. de largo y 9 cm. de diámetro. Su peso es de 2,1 kilos y con un pequeño paracaídas que reduce su velocidad de caída hasta alrededor de 1400 m/min. El DSO convierte las señales procedentes de la sonda en datos de presión, temperatura y humedad relativa usando una calculadora programada o mediante cálculos manuales si fuera necesario. Los sondeos completos son transmitidos como observaciones verticales o "drops".

El ARWO es responsable de la precisión, adquisición puntual y difusión de todos los datos meteorológicos (incluidas las observaciones verticales). Los datos son cifrados, comprobada su precisión y transmitidos por radio de alta frecuencia. Una red de estaciones receptoras en lugares seleccionados recogen las observaciones, revisan nuevamente su exactitud y concordancia y los introducen dentro del sistema de comunicaciones meteorológicas.

La valoración objetiva de la exactitud de los datos de los vuelos de reconocimiento meteorológico es difícil de hacer, debido a la dificultad de comparar las observaciones del reconocimiento con las del radiosonda y al hecho de que la mayor parte de las misiones de reconocimiento se realizan en zonas de datos dispersos donde su comparación es raramente posible. Las estimaciones admitidas sobre la precisión de las medidas de varios parámetros obtenidos en las observaciones horizontales de reconocimiento meteorológico son las siguientes:

<i>Parámetro</i>	<i>Precisión</i>
Temperatura (nivel de vuelo)	± 1 grados C
Punto de rocío (nivel de vuelo)	± 1 grados C por encima de 0°C*
	± 1,5 grados C en o por debajo de 0°C
Temperatura del agua del mar	± 0,5 grados C
Presión a nivel del mar	± 1 h Pa
Altitud absoluta	± 10 m*
Altura de la superficie isobárica standard	± 3 m en o por debajo de 700 h Pa
	± 10 m por encima de 700 hPa**

* Confirmado por la experiencia.

** La valoración de la precisión de la altura de las superficies isobáricas standard es muy difícil. La experiencia operativa indica que estas estimaciones son razonables la mayor parte de las veces.

Los datos de los radiosondas con paracaídas pueden generalmente ser considerados de una precisión de ± 2 hPa en la presión al nivel del mar y entre 1° y $1,5^\circ$ grados C en la temperatura. Un sensor perfeccionado de humedad ha reducido la imprecisión de los datos de punto de rocío, pero la exactitud real no está disponible en el momento de escribir este artículo.

Muchos factores pueden modificar los intervalos de precisión indicados anteriormente. La prolongada utilización del equipo meteorológico sin mantenimiento reduce la precisión de algunos de los parámetros medidos. El uso de dos sistemas de altímetros para el cálculo de la altura de las superficies isobáricas y de la presión al nivel del mar detecta los errores inherentes a los propios sensores. Los errores humanos en el cálculo y cifrado también influyen en la precisión de los datos transmitidos. Un amplio control de calidad y programas de calibración en las unidades de reconocimiento atmosférico ayudan a minimizar el intervalo de error de estos y otros factores y a confirmar que en la mayor parte de los casos las precisiones anteriores pueden ser usadas con razonable confianza.

Operaciones de reconocimiento meteorológico

Las misiones son realizadas para una variedad de usuarios ocupados en operaciones en muy diferentes partes del mundo. Algunos tipos de misiones se describen brevemente en los párrafos siguientes.

Reconocimiento de los ciclones tropicales – Esta misión se realiza para apoyar las actividades de centros de confección de avisos tales como el National Hurricane Center en Florida y el Joint Typhoon Warning Center en Guam. Aunque se trata de trabajo estacional, el reconocimiento de los ciclones tropicales constituye una gran parte del trabajo de cada unidad.

Los objetivos primordiales del reconocimiento de un ciclón tropical son: localizar el centro del ciclón, medir los parámetros meteorológicos en dicho centro y transmitir la información relevante a la oficina de predicción apropiada. El avión es normalmente dirigido al centro usando: el radar de 3 cm., el examen visual del viento en superficie, el viento al nivel de vuelo dado por el sistema de navegación doppler y los datos del horizontal metystem. Todo esto es conocido como una "penetration". Bajo determinadas condiciones la penetración no es posible, y en este caso se intenta la fijación del centro del ciclón utilizando el radar de 3 cm.

Toda fuente de información disponible por el ARWO y el navegante es usada para localizar el centro del ciclón tropical. Se hacen constantes comparaciones de los vientos al nivel de vuelo y en superficie con la dirección del avión a fin de "mantener el ala izquierda en el viento". El eco de las bandas de lluvia en el radar se usa para determinar la localización aproximada del centro del vórtice. La imagen del radar del ojo de un ciclón con una pared de nubes bien desarrollada simplifica la localización a menos que la actividad convectiva enmascare los ecos. A una altitud-presión constante, la altitud absoluta del avión puede ser controlada y decrece cuando el centro se aproxima. La temperatura también se controla y aumenta cuando se acerca al núcleo cálido del vórtice, con un gradiente máximo típico en o cerca de la pared nubosa del ojo (si existe). La velocidad del viento se verifica continuamente; aumenta hacia el centro pero decrece bruscamente cuando se penetra en él. Las observaciones se realizan cuando son necesarias y se registran para su transmisión o para posterior uso en la determinación de

la posición del vórtice. Un análisis en vuelo, se realiza normalmente como una ayuda en la localización del centro del ciclón y para seguir la trayectoria del movimiento y evolución del vórtice durante la misión.



Figura 4 – El ojo del tifón Nora el 6 de octubre de 1973. Este “super-tifón” tenía la pared nubosa del ojo extremadamente bien desarrollada y la presión mínima al nivel del mar fue de 877 hPa.

Los datos recogidos en el centro de un ciclón tropical incluyen:

- Hora en que se fija la posición del vórtice.
- Posición del vórtice (longitud y latitud).
- Altura mínima de la superficie isobárica standard.
- Estimación del viento máximo *observado* en superficie y su orientación y distancia desde el centro.
- Viento máximo al nivel de vuelo cerca del centro y su orientación y distancia.
- Presión mínima al nivel del mar.
- Temperatura máxima al nivel de vuelo dentro y fuera del ojo.
- Características del ojo (forma, orientación, diámetro).
- Confirmación de la hora y de las coordenadas del vórtice, información sobre cómo y a qué nivel de presión (850 hPa, 700 hPa, etc.) se ha fijado la posición.
- Estimación de la precisión de las posiciones transmitidas a efectos de la navegación o confines meteorológicos.
- Comentarios adicionales.

Estos datos son recogidos en cada requerimiento de fijación del vórtice siempre que sea posible. La presión al nivel del mar se determina lanzando un radiosonda con paracaídas desde una altitud de vuelo de 10.000 ft (aproximadamente 3.000 m. ó 700 hPa) o se extrapola si la misión se realiza a 1.500 ft (460 m.).

Para aumentar los datos en el centro de un ciclón tropical se realizan vuelos especiales con el fin de adquirir datos en cada cuadrante. Las observaciones se hacen y se usan para: la determinación de la intensidad y distribución del viento en superficie y a nivel de vuelo, la obtención de perfiles de altura de las superficies isobáricas standard y de la presión al nivel del mar y para la determinación de perfiles de temperatura y de punto de rocío en el ciclón.

Se realizan misiones de reconocimiento en zonas de posible ciclogénesis, para encontrar donde existen circulaciones ciclónicas cerradas y si existieran determinar su intensidad. Debido a la débil y mal definida naturaleza de los ciclones tropicales en sus primeras fases de desarrollo, estas misiones de reconocimiento frecuentemente son las más difíciles entre las realizadas por las tripulaciones de reconocimiento aéreo.

Apoyo a la Air Force Global Weather Central

Se realizan misiones de reconocimiento meteorológico para apoyar las operaciones de la Air Force Global Weather Central en Offutt AFB (Nebraska EE.UU.). La Global Weather Central ocasionalmente requiere datos en altitud de zonas de observaciones dispersas tales como el Golfo de Alaska y el Golfo de México. Estas misiones se realizan más frecuentemente durante los meses de invierno para proporcionar datos de 400 hPa y 300 hPa necesarios en los modelos de predicción numérica. Se toman observaciones horizontales y verticales a lo largo de trayectorias conocidas o con planes de vuelo especialmente proyectados por el ordenador para estas misiones.

Tales misiones de apoyo en los últimos años han sido principalmente realizadas desde la McChord AFB (Washington, EE.UU.) por tripulaciones de servicio activo y de la reserva. Las misiones ocasionales requeridas sobre el Golfo de México son llevadas a cabo desde la Keesler AFB, aunque muchos de los datos necesarios pueden ser suministrados en las salidas rutinarias de entrenamiento.

Misiones relacionadas con los temporales invernales

A causa de la amenaza de graves y destructores temporales a lo largo de la costa este de los EE.UU. durante el invierno se han hecho planes especiales para misiones de reconocimiento aéreo a fin de ayudar a la elaboración de predicciones y avisos de dichos temporales. Este plan de operaciones se realiza, desde 1969, está compuesto por observaciones desde plataformas en superficie, aviones y satélites con misiones de predicción y alarma. El plan está en vigor todos los inviernos durante el período que abarca desde el 1 de noviembre al 15 de abril, cubre el Golfo de México y el Atlántico al oeste del Meridiano 65⁰W y entre los paralelos 35⁰N y 48⁰N, además de aquellas partes de los EE.UU. situadas a unas 150 millas (240 km) de estas zonas marítimas.

Tanto el *Hurricane Hunters* como el 815th Wather Reconnaissance Squadron realizan misiones especiales a lo largo de la costa este y en el Golfo de México para proporcionar datos para los análisis y las predicciones en el National Meteorological Center y colaborar en las predicciones para el ejército. Varios vuelos de reconocimiento se han realizado para estas aplicaciones.

Misiones de apoyo táctico – Las misiones de apoyo táctico son de dos tipos básicos: reconocimiento de rutas y reconocimiento de zonas. Las misiones de reconocimiento de rutas se realizan a lo largo de una ruta prefijada para los movimientos tácticos de la aviación a fin de investigar el viento en el nivel de vuelo a lo largo de la ruta y otras condiciones meteorológicas significativas. La mayor parte de las misiones de apoyo táctico en época de paz son de este tipo. Las misiones de reconocimiento de zona se realizan para apoyar operaciones tácticas dentro de una zona especificada.

Modificación artificial del tiempo – Las unidades de reconocimiento meteorológico de la Air Force tienen una capacidad modesta para dispersar nieblas frías (subfundidas) y han tomado parte en operaciones de siembra de nubes destinadas a aliviar las sequías. Las operaciones de dispersión de nieblas frías se efectuaron con éxito considerable por las tripulaciones de reconocimiento entre 1967 y 1973 en Elmendorf AFB (Alaska, EE.UU.). La instalación y uso de quemadores de propano en Elmendorf reemplazó en

1973 la siembra de hielo seco aerotransportado, aunque las unidades de reconocimiento todavía pueden realizar ese servicio.

Las operaciones de siembra de nubes implican la siembra de nubes cumuliformes apropiadas con cristales de yoduro de plata lanzado cada dos o tres segundos, mientras el avión está en la región de la corriente ascendente de la nube. Los cristales están colocados en unos bastidores unidos a las puertas de las tomas de aire situadas en los lados del fuselaje del avión. Además de estas operaciones especializadas las tripulaciones de reconocimiento meteorológico de la US Air Force han realizado misiones de siembra para aliviar la sequía en las Filipinas y en Texas.

Perfeccionamiento de las fuerzas de reconocimiento meteorológico

Después de que el huracán *Camille* azotó la costa sur de los EE.UU. en agosto de 1969 se instaló un sistema meteorológico mejorado en los WC-130. La nueva instrumentación, conocida como SEEK CLOUD se consideró como una mejoría transitoria pendiente del desarrollo de sistemas más perfeccionados.

En 1971 un prototipo AN/AMQ-32 Airborne Weather Reconnaissance System (AWRS) (sistema aerotransportado de reconocimiento meteorológico) fué instalado en un WC-130 B de los *Hurricane Hunters*. Este sistema AWRS proporcionó una mejoría significativa en capacidad, pero a causa de su complejidad y su elevado coste para toda la flota WC-130 el proyecto no se continuó. El prototipo ya no figura en el inventario de la U.S. Air Force.

El desarrollo de un sistema Improved Weather Reconnaissance (IWR) (sistema de reconocimiento meteorológico mejorado), empezó con seriedad en 1976. El desarrollo de la fabricación del IWR sólo espera disponer de los créditos necesarios. Si toda la flota WC-130 estuviera equipada de un sistema modular integrado IWR, se tendrían ventajas importantes en el sistema de navegación, la determinación del viento, los sensores de nivel de vuelo para la medida más precisa de los parámetros meteorológicos, el tratamiento y exposición de los datos de manera automática, las telecomunicaciones para la transmisión de los datos meteorológicos, el mantenimiento del equipo y su fiabilidad y, finalmente, la posibilidad de futuros desarrollos. El resultado de las mejoras en la eficiencia de los reconocimientos meteorológicos de las WC-130 podría compararse con el que se hubiera obtenido equipando toda la flota con el AWRS.

Entretanto, la instrumentación SEEK CLOUD (con algunos suplementos y perfeccionamientos) permanece en uso y se realizan continuados esfuerzos para mejorar el sistema hasta donde sea posible. El sistema OMEGA de navegación ha sido instalado y se utilizan calculadoras programadas para acelerar los cálculos tanto en las observaciones horizontales como en las verticales. El transductor de presión 1301A ha sido reemplazado por un cifrador digital de la presión y se está instalando en el WC-130H un segundo altímetro absoluto.

Advertencia final

Inevitablemente en una exposición tan breve de la infraestructura, equipo y actividades de las unidades de reconocimiento meteorológico WC-130 de la U.S. Air Force

han tenido que ser omitidos muchos detalles. La atención de los lectores interesados debe dirigirse al artículo del autor publicado en el *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 59, N° 9 (september 1978); pp. 1136–1143.

UN INSTRUMENTO HIDROLOGICO SIMPLE

Por I. C. STRANGWAYS, M. TURNER y W. S. INSELL*

La idea

Al estudiar el problema de la instrumentación para los países en desarrollo, que éstos pudieran adquirir y que fuese de empleo fácil, surgió la idea de un instrumento simple para la hidrología. La mayoría de los instrumentos hidrológicos electrónicos son caros y su mantenimiento puede ser un problema en localidades aisladas en donde no se disponga de los especialistas adecuados.

“Simple” en este contexto se refiere al funcionamiento y a las reparaciones del instrumento, pero no a su tecnología. Tal sistema deberá ser sencillo de mantener, sencillo de usar y poco costoso. Estas condiciones parecen contradictorias, pero no es necesario que lo sean.

Como la precipitación es, probablemente, la medida más importante en hidrología, el primer instrumento que se desarrolló en esta serie fue un pluviómetro. La escorrentía, aceptada generalmente como la segunda en importancia, fue la variable que se consideró a continuación.

El pluviómetro

El pluviómetro está compuesto por dos partes, el colector y el módulo electrónico. El colector está formado por una cubeta basculante, que es indudablemente el método mejor para medir la lluvia eléctricamente. Los instrumentos basados en el cómputo de gotas, o en el peso recogido, o los sifones, son más complicados y menos exactos. Para evitar los costos elevados de la mano de obra en el trabajo de los metales, se emplearon plásticos moldeados para el embudo, la base y el mecanismo de la cubeta. Los primeros prototipos de pluviómetro hechos de poliuretano expandido se juzgaron insuficientemente resistentes para un uso prolongado, aunque se obtuvieron resultados aceptables al recubrir el instrumento de una película externa de resina de poliéster. Actualmente empleamos fibra de vidrio, ya que es más resistente y no más cara. Anteriormente, se habrían hecho pluviómetros de fibra de vidrio, pero eran de formas complejas; el diseño actual es muy simple constando sólo de dos partes, el embudo en la parte superior y la base sobre la cual se coloca la cubeta. La cubeta y el soporte sobre el cual bascula están moldeados en resina epoxi, que es muy fácil de moldear y no requiere maquinaria especial. Los moldes están hechos de goma de silicona. Un imán, englobado en el brazo superior de la cubeta, actúa sobre un conmutador de lengüeta elástica que va moldeado en el brazo superior del soporte de la cubeta. Estos cuatro elementos constituyen el pluviómetro completo.

(*) Del Institute of Hydrology, Wallingford (Reino Unido).