

buena formación y participa activamente en la investigación. Las instalaciones proporcionan a los alumnos distintas oportunidades de utilizar ordenadores y datos modernos. El programa de estudios es amplio y riguroso, y proporciona a los estudiantes una excelente formación para seguir una carrera de meteorología operativa.

El equipo de evaluación hace las siguientes recomendaciones:

- El programa de estudios sólo aporta una enseñanza modesta en el área de la meteorología por radar. Los estudiantes mexicanos entrevistados por el grupo comentaron que esperaban haber trabajado más con datos de radar, ya que ellos disponían de radares Doppler en su Servicio Meteorológico. El CRFM debería buscar las formas de que los estudiantes manejaran más datos de radar mediante la enseñanza a distancia o utilizando los datos radar disponibles en Internet.
- El CRFM debería examinar las formas de aumentar las oportunidades de enseñanza continua que ofrece a la Región. Aunque el CRFM ya lo está haciendo, el Grupo anima al profesorado a que busque las formas de influir todavía más en el desarrollo profesional de los predictores meteorológicos a medida que se vaya disponiendo de nuevos datos y de nuevos modelos de predicción numérica.
- El acceso a Internet es la llave para obtener valiosos recursos educativos y datos para la enseñanza y para la investigación. El Grupo anima a la Universidad a que aumente significativamente el

ancho de banda disponible en el Departamento. La falta de un acceso rápido a Internet está dificultando la enseñanza y la investigación, y será imposible una expansión en el futuro sin una importante mejora.

- El CRFM debería buscar formas de colaboración con otros centros similares de la región. Entre las actividades conjuntas y de colaboración se podrían incluir intercambios de profesores, la coordinación de los programas de estudios, intercambios de estudiantes, proyectos conjuntos de investigación y seminarios regionales de formación profesional.
- La OMM y la Universidad deberían suscribir un acuerdo que cubra temas importantes, tales como el apoyo financiero, y el soporte para el nuevo sistema de clasificación de la OMM.

El equipo de evaluación recomendó encarecidamente que se elogie al Departamento de Física Atmosférica de la UCR por sus excelentes programas y animó a la OMM a seguir considerándolo y financiándolo como un CRFM oficial.

El equipo también ha animado a la OMM a que siga su evaluación de los CRFM. Después del proceso de evaluación, el Grupo reafirmó la importancia que tiene una visita al lugar para que la evaluación externa sea buena. Esperamos que, a través de este proceso de revisión, se aumente la calidad de la formación profesional regional de la OMM y que el proceso de evaluación ayude a los CRFM a obtener los recursos críticos que necesitan para intensificar y mantener sus programas de enseñanza. □

## Cómo determinar la velocidad de la corriente superficial de los ríos desde el aire\*



### Introducción

La velocidad de la corriente superficial de los ríos fue medida por primera vez usando fotografía aérea en los

años 20. La literatura sobre este tema se remonta a 1936 [1], 1939 [2] y a los años 60 [3, 4], cuando se

\* Preparado en la Biblioteca de Sistemas de Información Geográfica y de Medidas por Control Remoto del Instituto Hidrológico Estatal, Servicio Hidrometeorológico y de Vigilancia Medioambiental de la Federación Rusa, 199053 San Petersburgo V. O. 2-aya liniya, 23, Federación Rusa. Teléfono: (812) 323 3517, 231 9319. Fax: (812) 323 1028. Correo electrónico: Usachev@VL2121.spb.edu



Figura 1 - Flotadores de uranina con funda (izquierda) y sin funda (derecha)



Figura 2 - Flotadores vistos en una fotografía aérea



Figura 3 - Representación de flotadores en una llanura fluvial

inventó un método hidrométrico aéreo en el Instituto Hidrológico Estatal (GGI) bajo la dirección de V. A. Uryvaev [5] para que se usara en el servicio hidrometeorológico de la antigua URSS. El GGI trabajó después para mejorar el método [6, 7]. La medida del flujo superficial desde el aire para determinar la descarga de agua es sencillamente una variación del método terrestre, que utiliza flotadores para medir el flujo. La investigación teórica y un estudio comparativo práctico de la precisión de las medidas tomadas desde tierra, de las obtenidas con un medidor de corriente y de las tomadas desde el aire han demostrado que éstas son en muchos casos tan exactas como las tomadas con medidores de corriente, y a veces hasta son más precisas, debido a que ofrecen mejor información sobre la distribución de velocidad a lo ancho del río.

### Descripción breve del método

El método de los flotadores para determinar la velocidad de flujo consiste, básicamente, en usar intervalos de tiempo establecidos para fijar la situación de cuerpos tales como flotadores, hielo y troncos que se mueven libremente en la corriente. Para las medidas aéreas, se sueltan flotadores especiales desde un avión para teñir el agua de verde medianamente tinte de uranina (Figuras 1, 2 y 3). El tinte de uranina es fluorescina, una sal de sodio. Las velocidades de flujo más lento (por debajo de  $10 \text{ m s}^{-1}$ ) se miden usando flotadores de "lago", que aportan tinte suficiente para 60-90 minutos de coloración. Cuando las velocidades son mayores, se emplean flotadores de "río". Pueden estar activos durante 10-20 minutos.

Las fotografías de los flotadores se toman sobre una película sensible al verde,

usando una cámara aérea de vigilancia provista de un filtro verde.

La medida en sí misma comienza con el lanzamiento de los flotadores, que se hace cuando el avión se aproxima a la línea de lanzamiento. El personal intenta asegurar que el primer flotador y el último caigan lo más cerca posible de las orillas del río. Después del lanzamiento, el avión asciende hasta la altitud necesaria y se aproxima a la línea de corriente para tomar una primera y después una segunda fotografía de los flotadores.

Tras el revelado de las fotografías, se trasladan la primera y segunda posición de los flotadores de la fotografía aérea a un panel gráfico a escala, y se estima la deriva de los flotadores.

La velocidad de la superficie del agua se obtiene una vez que los resultados son corregidos teniendo en cuenta la velocidad del viento.

### Utilidades

Al determinar el caudal de agua, este método se usa para obtener un mapa de distribución de las velocidades de flujo superficial a lo largo de la línea de

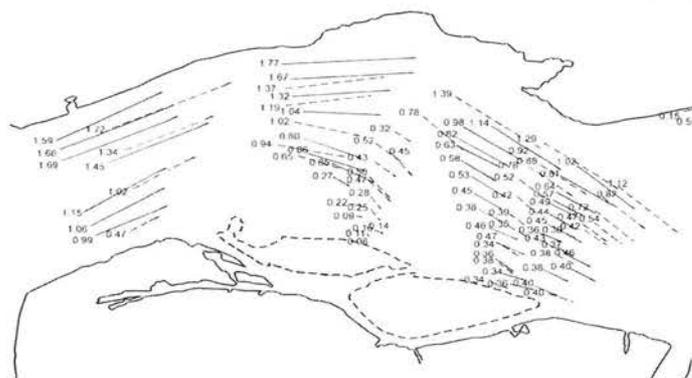


Figura 4 - Un mapa de velocidades de flujo en la cuenca del Obi, cerca de Barnaul, dibujado a partir de las fotos tomadas el 3 y el 6 de junio de 1985



Figura 5 - Fotografía aérea de un segmento fluvial, en la que se ve el flotador

corriente del río y para dibujar un mapa de las velocidades del flujo superficial de un segmento dado del río.

186

En primer lugar, los datos de la velocidad del flujo superficial (dirección y velocidad) se usan para determinar el caudal a lo largo de la línea de medida. Para condiciones promedios de medidas aéreas (escala de la foto 1:5 000, velocidad del viento 2-3 m s<sup>-1</sup>, distribución simétrica de los elementos cinemáticos y morfométricos del flujo respecto al centro de la foto), el error cuadrático medio de la descarga en los cauces fluviales principales es del 5-6 por ciento, y en las llanuras (en las que la velocidad del flujo es de 0,1-0,5 m s<sup>-1</sup>) es del 10-12 por ciento.

Un estudio de la curva de repetición de las desviaciones de las descargas medidas usando el método hidrométrico aéreo respecto de las obtenidas a partir de la curva de dependencia  $Q = f(H)$  que resulta de las medidas realizadas con medidor de corriente, sobre la base de más de 1 000 medidas aéreas de 60 líneas de corriente distintas, ha demostrado que la desviación es de un 7 por ciento.

El proceso de fotografía aérea varía para cauces sencillos, cauces múltiples y llanuras fluviales. La experiencia del GGI en la planificación y la ejecución de distintos equipos en grandes cauces fluviales y en amplias llanuras ha demostrado la utilidad de los mapas de flujo obtenidos a través de la hidrometría aérea, especialmente cuando se utilizan con material obtenido de fotografías aéreas secuenciales [8].

Los mapas de flujo (Figuras 4 y 5) son irremplazables para la calibración de los modelos hidráulicos de segmentos de cuerpos de agua [9, 10].

La hidrometría aérea cuenta con las claras ventajas de necesitar menos personal y de ofrecer los datos rápidamente. De todas formas, debería tenerse en cuenta que este enfoque depende mucho de las condiciones meteorológicas.

## Perspectivas de mejoras y aplicaciones

Para asegurar que las medidas tomadas desde el aire son más eficaces y se pueda disponer de ellas más rápidamente, habría que mejorar los medios técnicos para colorear la superficie del agua y para seguir el movimiento del trazador a lo largo del río. Por ejemplo, habría que reemplazar los flotadores de madera de uranina por otros más respetuosos con el medio ambiente y que puedan ser más efectivos en corrientes turbulentas. Se podrían reemplazar las fotografías aéreas por imágenes digitales de vídeo. Se prescindiría así del laborioso y largo revelado de las fotos y se podría procesar las imágenes directamente por ordenador a bordo del avión, pudiendo disponerse así de los resultados inmediatamente.

Se podría usar este método para realizar medidas en los ríos de muchas partes del mundo, incluidas Asia y América del Sur. Permitiría medidas en tiempo real del caudal de agua de grandes ríos y también haría posible obtener mapas de la velocidad de la corriente superficial que son necesarios para estudiar la dinámica de flujo y para tomar medidas de protección de los caudales.

Los gobiernos que estén interesados en utilizar este método deberían cooperar en la aplicación y posterior mejora del método hidrométrico aéreo de medida de velocidades.

## Literatura recomendada

- YUSHCHENKO, A. P. (Editor), 1936: The use of aerial photography in hydrological research., TsUEGMS editores, Leningrado, 108 págs. (en ruso).
- REVISTA DE CARTOGRAFIADO MUNDIAL Y DE LITERATURA GEODÉSICA, 1939: Determining relative surface velocity of water flows using aerial photography, 1-4, 46-47, Moscú (en ruso).
- MALYAVSKIY, B. K., 1960: Determining the speed and direction of surface currents and water discharges in rivers using aerial methods. Aparece en *Meteorology and Hidrology*, 7, 42-44 (en ruso).
- FORRESTER, W. D., 1960: Plotting of water current patterns by photogrammetry. *Photog. Eng.*, 26, 726-736.
- GIDROMETEIOZDAT, 1966: Determining surface speeds of river currents (water discharge) using aerial and river bank photography. *Methodical instructions for the Hydrometeorological Service Handbook*, nº 72, Leningrado, 112 págs. (en ruso).
- GIDROMETEIOZDAT, 1974: Methodical recommendations for the measurement of river water discharge using aerial methods, Leningrado, 134 págs. (en ruso).
- SHUMKOV, I. G., 1982: Aerial river hydrometrics, Gidrometeiozdat,

Leningrado, 208 págs. (en ruso).

USACHEV, V. F., 1977: A study of river flood plains using aerohydrometry methods, GGI Works, 232, 112-119 (en ruso).

KROTOV, A. P., y otros, 1996: Interaction of channel processes and

hydraulic structures, Moscú, Stroyizdat, 145 (en ruso).

KINOSHITA, R., 1968: Flood flow measurement by aerial photography, Serie Hy. Eng., Sociedad de Ingeniería Civil de Japón (en japonés).

## Estación de Paramaribo: un programa conjunto de Surinam y Holanda en el trópico



Por J. P. F. Fortuin\*, C. R. Becker\*\*, H. Kelder\* y A. P. M. Baede\*

### Introducción

Para tratar el importante tema de la influencia de los trópicos sobre el clima mundial y la composición atmosférica se necesita conocer mejor la química y el transporte atmosféricos en esta región. La zona de convergencia intertropical (ZCIT) juega un papel vital a este respecto. En ella se junta el aire que viene del norte con el que viene del sur, sufre varios procesos dinámicos y químicos, asciende por convección a altitudes más altas y sopla hacia latitudes fuera del trópico. Sobre regiones grandes, la ZCIT puede distinguirse como una banda nubosa que rodea la Tierra. Su estructura latitudinal es bastante compacta sobre los océanos a ambos lados del continente sudamericano, de forma que se puede seguir fácilmente su migración anual entre el ecuador y, aproximadamente, los 10° N. Esta migración determina también en gran medida las variaciones estacionales de las áreas que se encuentran dentro de su extensión. En Surinam, por ejemplo, las dos estaciones húmedas coinciden con los periodos en los que la ZCIT está directamente sobre el país (de

diciembre a enero y de abril a julio), las estaciones secas se dan cuando está al sur o al norte de Surinam (de febrero a marzo y de agosto a noviembre, respectivamente). Por lo tanto, una estación de observación atmosférica situada en Surinam tomaría muestras de aire tanto del hemisferio norte como del sur, y también de aire de la misma ZCIT, dependiendo de su posición. Además, debido a la orografía relativamente llana de la región costera nororiental de Sudamérica, el aire permanece mucho tiempo sin perturbaciones

después de ser advectado sobre tal lugar. Por ello, la influencia orográfica sobre el transporte de aire es mínima, lo que simplifica mucho las tentativas de seguir la pista del aire hasta su región de origen. La atmósfera tropical abarca casi la mitad de la atmósfera global, sin embargo

actualmente hay pocos puestos de observación sistemática para estudiar su comportamiento. La combinación de estas características motivó una iniciativa de investigación conjunta entre Surinam y Holanda que desembocó en el proyecto de Investigación de la Dinámica y Química de la Atmósfera (RADCHIS) de

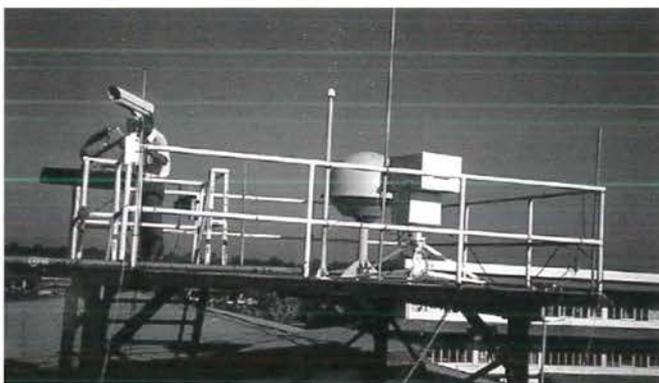


Figura 1 - La plataforma de observaciones en la terraza del edificio de la Oficina Meteorológica de Surinam con (de izquierda a derecha) una cámara de video al aire libre, la antena GPS, una antena de UHF y el Brewer MKIII

\* Royal Netherlands Meteorological Institute (Real Instituto Meteorológico de Holanda). P.O. Box 201. 3730 AE De Bilt, Netherlands. Correo electrónico: fortuin@knmi.nl

\*\* Head of the Meteorological Service of Surinam (Jefe del Servicio Meteorológico de Surinam), 41 Magnesium Road, Paramaribo