

Influencia del giro de la Tierra en el movimiento de los fluidos

Fernando Hermosilla Villalba

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos

Prof. de Física en E.T.S. de Ing. de Montes

RESUMEN

Se analiza en este artículo la influencia que tiene el movimiento giratorio de la Tierra sobre fenómenos naturales en los que se producen desplazamientos de fluidos. En particular los ciclones, de los cuales se muestran fotografías correspondientes al huracán Mitch que se desarrolló en el mar Caribe en otoño de 1998.

ABSTRACT

This article analyses the influence of the Earth's rotational movement on natural phenomena involving the movement of fluids. More specifically cyclones are discussed, showing photographs of hurricane Mitch, which developed in the Caribbean Sea in the autumn of 1998.

INTRODUCCIÓN

Es conocida la anécdota relativa a un científico que fue raptado y escondido en cierto lugar del mundo. El científico no tenía la menor idea de adonde le habían llevado pero pudo averiguar en que hemisferio se encontraba. Esto gracias a que en la habitación donde le tenían encerrado había un lavabo y se fijó en el sentido de giro del agua, cuando después de lleno vaciaba el lavabo, que tenía forma con simetría axial y el desagüe prácticamente en el eje de simetría. Sabía que, en casos como este, el agua gira en sentido contrario a las agujas del reloj estando en el Hemisferio Norte y con el mismo sentido que el reloj cuando está en el Hemisferio Sur.

Sobre el fluido, en este caso agua, que se mueve respecto a la Tierra la cual está girando, actúa la aceleración de Coriolis. Se tiene un SISTEMA NO INERCIAL, diferente de los SISTEMAS INERCIALES solidariamente unidos a ejes que se mueven en sentido rectilíneo con velocidad constante.

MOVIMIENTO LINEAL

Como ejemplo simple, en comparación con movimientos respecto a la Tierra que gira, consideremos movimientos respecto a sistemas no en reposo pero que se mueven según una

trayectoria lineal. Así los movimientos de viajeros en el interior de un tren que circula por tramo de vía totalmente recto o de un autobús marchando por carretera también recta.

Tanto el tren como el autobús pueden estar parados mientras suben los pasajeros y luego moverse a velocidad constante respecto a ejes OXYZ, fijos en relación con el planeta Tierra.

En el interior del tren los pasajeros pueden cambiar de posición. Para reflejar tales movimientos consideremos, paralelos a los ejes fijos OXYZ, unos ejes O'X'Y'Z' móviles unidos al vehículo que transporta los viajeros.

En las hipótesis de vehículo parado o moviéndose con velocidad constante, los ejes móviles O'X'Y'Z' tienen aceleración nula y su velocidad es constante, tanto en dirección como en módulo. Se trata de un SISTEMA INERCIAL.

En cambio cuando el vehículo acelera después de una parada o frena para detenerse en otra, los ejes O'X'Y'Z' tienen aceleración positiva o negativa, dando lugar a un SISTEMA NO INERCIAL.

Al arrancar el tren o autobús con aceleración grande, los pasajeros tienden a ir hacia atrás e incluso pueden caer si están de pie y no se sujetan bien. Es la consecuencia de que, para moverse en concordancia con el vehículo transportador, cada pasajero que tenga una masa m precisa de una fuerza F

que le transmita la correspondiente aceleración, siendo \vec{i} el vector unitario de dirección

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{a} = (\vec{v}_{\text{final}} - \vec{v}_{\text{inicial}}) \cdot \vec{i} / \Delta t$$

La inercia de cada pasajero hace que este tienda a permanecer quieto en relación con los ejes OXYZ, fijos respecto a la Tierra, o seguir moviéndose con la velocidad que tenía, sin influir la modificación de velocidad del tren o autobús en cuyo interior se encuentra. Esto salvo que el vehículo tenga "enlaces" que transmitan al pasajero las fuerzas de inercia. Así sucede cuando el pasajero está sentado.

CICLONES ATMOSFÉRICOS

En el apartado INTRODUCCIÓN se ha citado la influencia que sobre el movimiento de un fluido, el agua, tiene el giro de la Tierra. Ahora se analiza la repercusión del giro terráqueo sobre fluidos como el aire.

Los distintos calentamientos de la atmósfera terrestre determinan zonas con presión más alta que la habitual y otras con presión más baja. Para equilibrar presiones, hacia las zonas de baja presión afluyen corrientes de aire provenientes de su contorno. Pero tales corrientes no son radiales, sino que forman remolinos girando, tal como se dicho para el desagüe de un lavabo con forma simétrica,

- en sentido *antihorario* cuando se está en el hemisferio Norte
- " " *horario* " " " " " " " " Sur

Lo mismo que cuando desagua un lavabo, la razón de ello está en el movimiento de giro de la Tierra alrededor del eje que une el polo Norte con el polo Sur.

En lo que sigue se escriben con negrilla las magnitudes vectoriales, sin poner un trazo sobre ellas.

El giro de la Tierra debe considerarse respecto al Universo, no respecto al Sol. Por tanto la velocidad de giro \vec{W} es de 2π radianes (360°) en un día sidéreo, que tiene una duración de solo 23 horas 56 minutos, en lugar de las 24 horas que dura el día solar. Esto porque girando la Tierra alrededor del Sol en el mismo sentido que alrededor de su eje, al cabo de los 365 días del año da con respecto al Sol una vuelta menos que respecto a las estrellas.

La velocidad de giro es $\vec{W} = 2\pi$ radianes/día = $7,29 \cdot 10^{-5}$ radianes/seg.

Parece oportuno recordar ahora que la Luna gira alrededor de la Tierra con periodo de 28 días solares, que es también la duración de cada giro (referido a la Tierra) alrededor de su eje lunar. Como consecuencia de ello, desde la Tierra se ve siempre (estando iluminada por el Sol) la misma superficie de la Luna. La superficie restante queda siempre oculta.

Si un cuerpo se mueve sobre el globo terráqueo, con velocidad \vec{u} respecto a la Tierra y describiendo un círculo de radio R_a , actúa sobre él una aceleración dirigida hacia el centro del círculo.

Esta aceleración es $(\vec{W} \cdot \vec{R}_a + \vec{u})^2 / R_a$ y la aceleración aparente, sin considerar la rotación de la Tierra, \vec{u}^2 / R_a .

Tal disconformidad queda eliminada, como propuso el físico francés Coriolis (1792-1843), admitiendo que como consecuencia de la rotación de la Tierra actúan, en cada unidad de masa sobre ella apoyada, las fuerzas $\vec{W}^2 \cdot \vec{R}_a$ y $2 \vec{W} \cdot \vec{u}$ dirigidas en dirección del radio de giro y hacia el exterior del círculo descrito.

Una confirmación de ello es que la gravedad efectiva, (fuerza por unidad de masa \vec{g}), es realmente la suma vectorial de la atracción por gravedad hacia el centro de la Tierra y la fuerza centrífuga con valor $W^2 \cdot R_a$ que, en dirección normal al eje de giro de la Tierra, empuja hacia el exterior. Tal fuerza, con valor nulo en los Polos y máximo en el Ecuador, hace que la Tierra no tenga forma esférica sino de elipsoide. La gravedad efectiva no está dirigida hacia el centro de la Tierra, sino hacia la circunferencia formada por los focos de las elipses, secciones meridianas de la Tierra.

Si una masa de aire se mueve según un paralelo de latitud (a) y de radio (R_a), la velocidad de esta masa de aire en relación a unos ejes fijos en el Universo es

$$\vec{W} \cdot \vec{R}_a + \vec{u}$$

siendo como se ha dicho antes

$$\vec{W} = 2\pi \text{ radianes/día} = 7,29 \cdot 10^{-5} \text{ radianes/seg}$$

\vec{u} = velocidad de la masa respecto a la Tierra

La velocidad \vec{u} ha de ponerse con signo positivo si el movimiento es de Oeste a Este (en el mismo sentido que el giro de la Tierra) y negativo si es de Este a Oeste.

A este movimiento corresponde una aceleración centrífuga, dirigida hacia el eje polar de la Tierra, cuyo valor es

$$(\vec{W} \cdot \vec{R}_a + \vec{u})^2 / R_a$$

Sin embargo la aceleración aparente es solo \vec{u}^2 / R_a . En consecuencia, sobre el elemento móvil ha de actuar la fuerza de Coriolis, normal al círculo que forma el paralelo y dirigida al exterior, con valor

$$2 \vec{W} \cdot \vec{u} + \vec{u}^2 / R_a$$

De los dos sumandos de esta fuerza, el segundo (\vec{u}^2 / R_a) tiene igual valor modular que la aceleración aparente. Su sentido es siempre positivo y por tanto se dirige hacia el exterior.

En cambio el primer sumando ($2\vec{W} \cdot \vec{u}$) es positivo y se dirige al exterior, si la masa de aire se mueve en el mismo sentido que la Tierra, de Oeste a Este, pero si el movimiento es de

sentido contrario, de Este a Oeste, tiene signo negativo y la fuerza se dirige hacia el interior.

Como la estimación de fuerzas se hace en el plano del paralelo según el cual se supone que se mueve la masa de aire resulta:

▼ a) cuando el movimiento es de Oeste a Este, hay una componente de fuerza con respecto a la normal a la superficie de la Tierra, dirigida hacia la línea ecuatorial y en esa dirección tiende a desplazarse el aire.

▼ b) siendo el movimiento de Este a Oeste, la fuerza suplementaria es hacia el polo del hemisferio en que está la masa de aire, y en el mismo sentido se produce el desplazamiento.

Examinemos ahora una masa de aire que circula sobre la Tierra describiendo un meridiano. Gira alrededor de un eje normal al eje polar. En cada punto por el que pasa tiene, con respecto a ejes fijos del Universo, una velocidad cuya componente tangencial al paralelo que atraviesa es

$$W * Ra + u$$

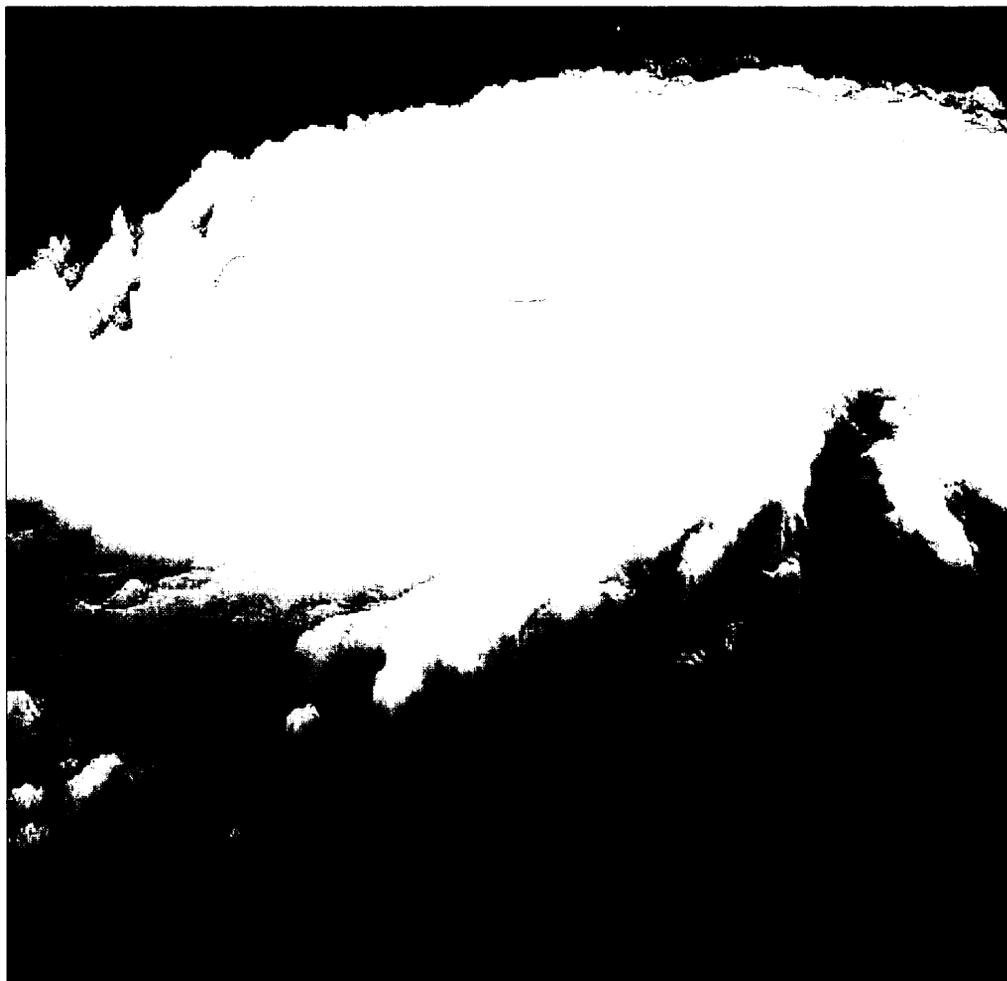
Para que se conserve el momento angular, si las fuerzas actuantes se mantienen constantes, la derivada respecto al tiempo t , de la velocidad u del cuerpo respecto a la Tierra, ha de ser igual a

$$- W * \delta Ra / \delta t$$

Cuando la masa de aire se mueve en dirección de uno u otro de los dos Polos, va disminuyendo el radio del paralelo que cruza en cada momento. En consecuencia, la velocidad u tendrá un incremento positivo en relación con el giro de la Tierra, haciendo que la masa de aire se desplace hacia el E.

Por el contrario, al moverse la masa de aire hacia el Ecuador aumenta el radio de los paralelos y la velocidad u tendrá incremento negativo en relación con el giro de la Tierra, con lo cual la masa se desplazará hacia el W.

Lo que se ha expuesto es aplicable a corrientes de aire que, procedentes del Este, del Oeste, del Norte y del Sur, lleguen a la zona de mínima presión. Las procedentes de direc-



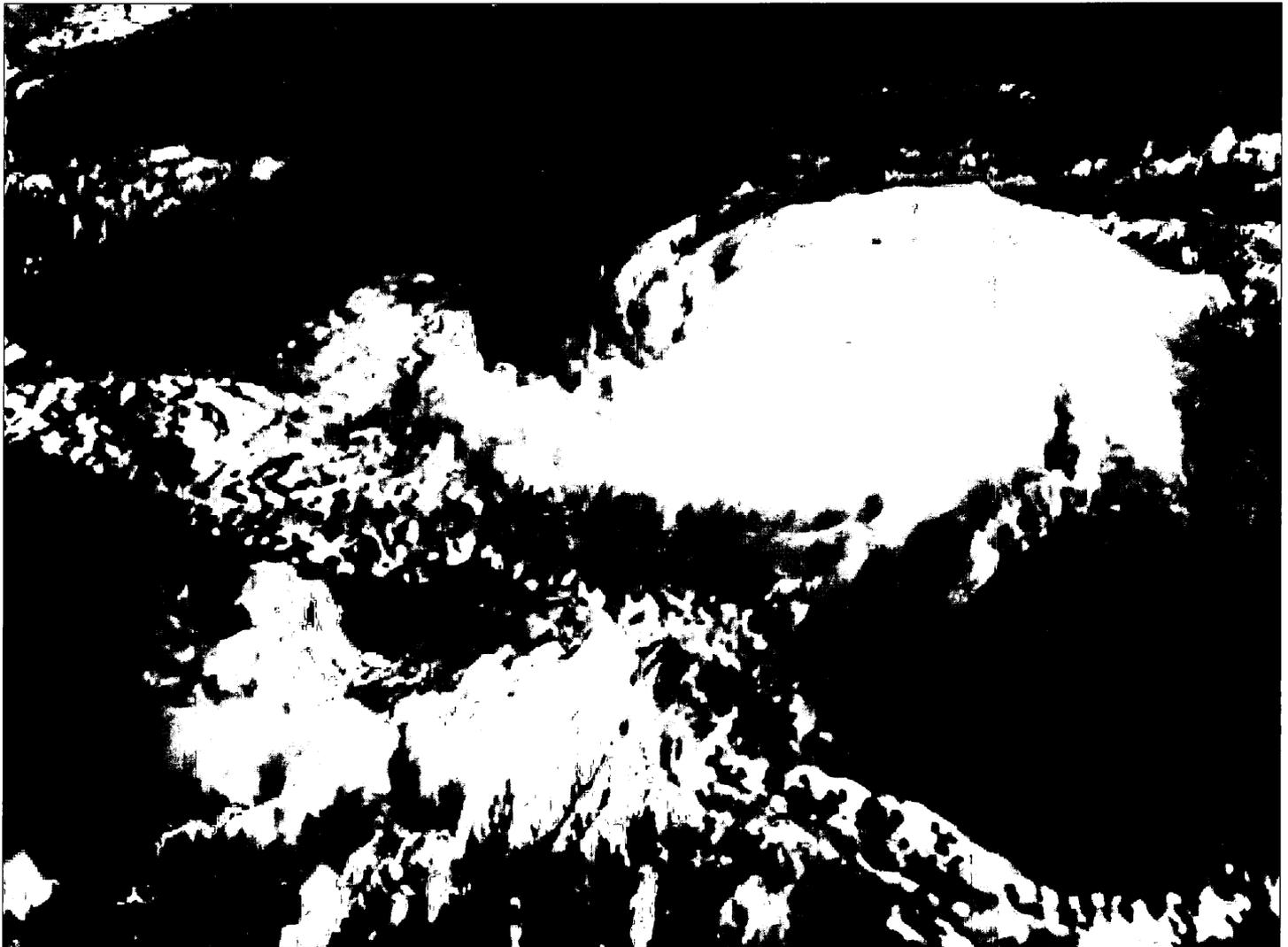
ciones intermedias, al considerarlas como suma vectorial de las cuatro principales sufren un desvío de dirección y dejan el punto de mínima presión

- a su izquierda estando en el hemisferio Norte
- a su derecha " " " " Sur

Como consecuencia de ello se forman los remolinos de que se ha hablado, girando

- en sentido *antihorario* en el hemisferio Norte
- " " *horario* " " " Sur

Se adjuntan fotos, tomadas desde satélite, en las que puede verse el huracán Mitch que tristemente ocasionó numerosas víctimas y bastantes daños en las zonas por donde pasó. El 22 de octubre de 1998 se inició cerca de la costa de Colombia y se desplazó en dirección norte para virar hacia el oeste el 26 de octubre atravesando Honduras, donde causó los mayores daños, El Salvador y Guatemala. El 31 de octubre cambió nuevamente hacia el norte, pasó por la península de Yucatán



(Mexico) y, siguiendo dirección NE, cruzó la península de Florida el 5 de noviembre para terminar en el océano Atlántico.

CONCLUSIÓN FINAL

Lo expuesto en relación con el movimiento de fluidos implica que no existan otras fuerzas aparte de aquellas que hacen converger las masas de fluido hacia un lugar central. El desagüe en el caso de un lavabo o el eje del torbellino o ciclón para movimientos atmosféricos.

En la atmósfera sucede normalmente así porque las dimensiones de irregularidades en la corteza terrestre resultan pequeñas en comparación con la altura o espesor de las masas de aire en movimiento.

En una foto puede verse el huracán cuando está sobre el mar, entre la isla de Cuba y la costa de Honduras. En ella se aprecia claramente como el sentido de giro del torbellino de aire tiene sentido contrario al de las agujas de un reloj. Tam-

bién como el ciclón tiene dimensiones bastante mayores que las de las montañas por él atravesadas.

Otra foto presenta más claramente y con mayor detalle este ciclón o huracán que fue designado con el nombre de MITCH. La velocidad máxima que alcanzó el viento se aproximó a 300 km/hora.

En cambio para un lavabo el caso es distinto. Falta de simetría axial en sus formas o en la posición del desagüe, así como apertura de un grifo u otras razones pueden oponerse a las fuerzas de Coriolis y hacer que el giro del agua no se corresponda con los sentidos que han sido expuestos. También ha de tenerse en cuenta que, hasta establecerse el movimiento de giro, ha de transcurrir cierto tiempo durante el cual el lavabo esté desaguando.

Como conclusión parece oportuno decir que el fenómeno de Coriolis interviene también en diversos procesos naturales. Un conocimiento científico detallado de cómo se producen puede alcanzar aplicación práctica. ●