

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL  
Centro de Análisis y Predicción  
-----

NOTAS DE METECROLOGIA SINOPTICA

**3**

\*\*\*\*\*

MOVIMIENTOS HORIZONTALES DE  
LA ATMOSFERA.

CIRCULACION GENERAL

\*\*\*\*\*

Madrid, mayo de 1970

Estas Notas son de circulación limitada, exclusivamente para fines de información

+  
3  
)  
N  
3

I N D I C E  
-----

<u>CAPITULO</u>		<u>PAGINA</u>
1	Circulación convectiva:.....	1
2	Influencia de la rotación terrestre .....	2
3	Las células hemisféricas de circulación .....	4
4	El viento.- Movimiento horizontal en la atmósfera .....	4
5	Fuerza centrípeta y centrífuga .....	5
6	Conservación del momento cinético de rotación .....	5
7	Fuerza de gravedad .....	5
8	Fuerza aparente sobre una tierra giratoria .....	5
9	Fuerza del gradiente de presión .....	6
10	Resultante de la fuerza del gradiente de presión (fuerza real) y la de Coriolis (aparente) Viento geostrofico .....	7
11	Efectos de la fricción .....	8

1010852



AMET-BIBLIOTECA

## MOVIMIENTOS HORIZONTALES DE LA ATMÓSFERA; CIRCULACION GENERAL

### 1. Circulación convectiva.

#### a. Observaciones generales.

- (1) La energía que mueve la atmósfera tiene su origen en la radiación solar.
- (2) La radiación recibida del sol es reflejada, absorbida e difundida.
- (3) El calor del sol obtenido por la superficie de la tierra y la atmósfera, es igual al calor perdido en el espacio. Hay por lo tanto un equilibrio calorífico.
- (4) El vapor de agua y el ozono, en menor cantidad, absorben en gran parte la radiación terrestre.
- (5) La atmósfera en un conjunto está más fría que el suelo, porque en la atmósfera no ocurre ninguna absorción apreciable de la radiación solar directa por lo menos por debajo de los 20 Km.
- (6) Entre los 20 y los 50 Km, hay una región de ozono, que aumenta hacia los polos, capaz de absorber la radiación de onda corta y larga. Es por esta razón el que la temperatura media en este nivel parece que excede a la temperatura media del aire cerca del suelo. Estamos protegidos por el ozono contra los rayos ultravioleta del sol.
- (7) El oxígeno y el nitrógeno a niveles más elevados pueden absorber radiación solar directa. Las temperaturas a 150 Km, pueden ser tan altas como 1000°A. Esto tiene poca significación real si se considera la densidad de la atmósfera.

#### (a) Concentración de moléculas.

1. Superficie -  $27 \times 10^{18}$  mol. /cm<sup>3</sup>

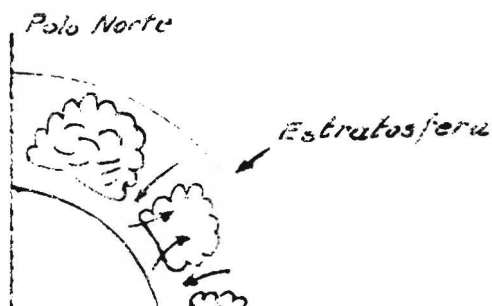
2. 50 Km. -  $3.5 \times 10^{16}$  mol. /cm<sup>3</sup>

3. 250 Km. -  $3 \times 10^6$  mol. /cm<sup>3</sup>

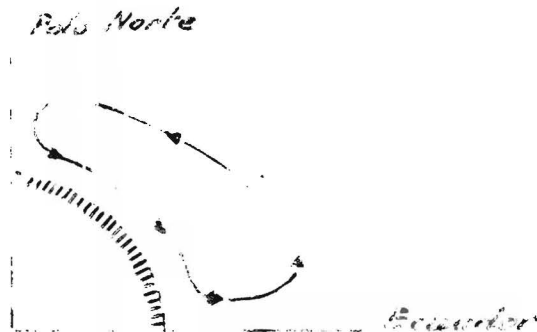
4. 800 Km. - 4 mol. /milla<sup>3</sup>

#### a. Límite práctico de la atmósfera.

- (8) No se puede esperar ningún efecto dinámico apreciable de estas altas temperaturas en la circulación cerca de la superficie.
- (9) Sin embargo, se puede esperar que tengan mucha importancia para obtener el ozono.
- (10) Debido a la evaporación las capas más bajas de la atmósfera están prácticamente saturadas de vapor de agua. Este aspecto unido a la inestabilidad mecánica, da lugar a una tendencia hacia las subversiones violentas. Las corrientes verticales violentas, (la convección) resultantes llevan el vapor de agua y el calor desde los niveles más bajos hasta grandes alturas.
- (11) A estas alturas, se produce la condensación del vapor de agua transportado verticalmente como consecuencia del enfriamiento por expansión.
- (12) Suponiendo una atmósfera calentada uniformemente en todas las latitudes y longitudes, no mostrará indicio alguno de circulación organizada.  
(a) Consideremos el diagrama que muestra la pronunciada actividad convectiva e irregular (cumulonimbos) que existirían si el calor del sol fuese aplicado uniformemente en todas partes y la tierra no girase.



- (13) Se establece el orden en este caso cuando se considera que hay una distribución no uniforme de la radiación solar.
- (14) Suponiendo esta distribución no uniforme de la radiación solar (que realmente existe) pero que la tierra no gira, se experimentaría una concentración de calor en el ecuador.
- (15) La atmósfera se expandiría verticalmente en el ecuador, mientras que el enfriamiento las altas latitudes producirían un aplastamiento.
- (16) Comparativamente una alta presión debería existir sobre el ecuador a cualquier altura (por ejemplo 5 Km).
- (17) El aire (un fluido) circularía entonces de alta presión a la baja, y la atmósfera se pondría en movimiento.
- (18) Esto elevaría la presión en los polos y la reduciría en el ecuador.
- (19) En la superficie el aire se movería desde el polo hasta el ecuador. Existirían vientos del Sur en altura y del Norte debajo.
- (20) Considérese el diagrama.



- (21) Debe tenerse en cuenta especialmente la importancia del valor del agua que lleva el calor latente. Es reducido el contraste de la temperatura entre el polo y el ecuador.
- (22) La inestabilidad queda limitada a las latitudes medias con flujo de aire cálido sobre aire frío.
- (23) La diferencia entre el calor recibido de la fuente calorífica y el calor cedido a fuente fría es convertida en trabajo. Este trabajo aparece como energía cinética del sistema de vientos.
- (24) Se han despreciado dos factores que se estudiarán ahora.

#### Influencia de la rotación terrestre.

- a. La velocidad de la rotación no varía apreciablemente.
- b. La rotación afecta profundamente al carácter de las distribuciones de flujo observadas en la atmósfera.
- c. Consideremos este flujo de la influencia de la rotación de la tierra.

- (1) Si una bola de marmol atada a un hilo se coloca sobre la superficie de una mesa lisa y se le da vueltas alrededor de la punta libre del hilo y si entonces se acorta la longitud del hilo, se encontrará que la velocidad de la bola aumenta.
- (2) Si el hilo se acorta a la mitad de su longitud original, la velocidad de la bola será doble.
- (3) Si el hilo se acorta a un tercio de su longitud original, la velocidad de la bola será triple.
- (4) Así el producto de la velocidad y radio de rotación permanece constante durante el experimento.
- (5) Este producto se llama el momento angular (por unidad de masa) de la bola.

d. Teniendo en cuenta los hechos anteriores, consideremos un anillo de aire extendiéndose alrededor de la tierra en el ecuador, en reposo con relación a la tierra, girando alrededor del eje polar con una velocidad igual a la de la propia tierra en el ecuador.

- (1) Si este anillo fuera empujado hacia el norte su radio se reduciría.
- (2) La velocidad absoluta del anillo aumenta de oeste a este.
- (3) La velocidad de la superficie disminuye de oeste a este.
- (4) El anillo que se mueve, además de su velocidad hacia el norte, adquiere una velocidad que aumenta rápidamente de oeste a este, relativa a la superficie de la tierra.
- (5) Considere el siguiente ejemplo más bien absurdo, que ilustra la importancia de las fuerzas rozamiento y la falta de simetría para un desplazamiento atmosférico en gran escala.
  - (a) La velocidad de la tierra hacia el este en el ecuador es 465 m/s.
  - (b) Un anillo de aire desplazado hacia el norte a  $30^\circ$ , duplicará su velocidad original a 930 m/s.
  - (c) Ahora la velocidad de la tierra aquí es la mitad de la que tiene en el ecuador.
  - (d) Un anillo de aire desplazado así se movería hacia el este con una velocidad relativa de  $930 \text{ m/s} - 232 \text{ m/s} = 698 \text{ m/s}$ .
- (6) La tendencia de los vientos hacia el oeste en los anillos con movimiento hacia el norte, debe modificar cualquier esquema descritos anteriormente de la circulación.
- (7) Suponiendo ahora una tierra giratoria relativa a nuestro conceptos previamente considerados, resultaría el viento del sudoeste en la atmósfera más baja.
  - (a) La fricción en la superficie impide los vientos excesivamente fuertes del este.
  - (b) La mezcla vertical impide los vientos excesivamente fuertes del oeste en altura.
  - (c) La masa de los vientos del oeste en altura excede a la masa de los vientos del este.
- (8) Este es una explicación poco satisfactoria puesto que los vientos del este tenderían a reducir la rotación terrestre a causa de la fricción y este hecho no ha sido observado.
- (9) La influencia retardatoria de los vientos del este debe ser comparada por la influencia aceleradora de una zona de vientos del oeste (en la superficie).
- (10) Considerando la fuerza centrífuga cualquier anillo de aire paralelo a un círculo de latitud:
  - (a) Si gira más rápidamente que la superficie, será empujada hacia el sur debido al exceso de fuerza centrífuga.
  - (b) Si gira a la misma velocidad que la tierra, el exceso de fuerza centrífuga debe anularse. Prueba de esto es que los objetos que se encuentran sobre la superficie no son arrojados hacia el ecuador.
  - (c) Si gira más lentamente (a este relativo a la tierra), debido a la deficiencia de la fuerza centrífuga sería empujada hacia el norte.
- (11) Para impedir que un viento del oeste cambie hacia el sur, la presión atmosférica debe ser más alta en el sur que en el norte, así la fuerza centrífuga es compensada por una fuerza del gradiente de presión. Nótese bien que si no se dispone de esta fuerza del gradiente nuestro anillo de aire sería empujado hacia el sur hasta que se haya acumulado bastante aire en el sur para formar la necesaria corriente transversal debida a la presión para que haya equilibrio.
- (12) De la misma manera, para que un anillo de viento del este permanezca en equilibrio, ha de tener una presión más alta sobre el lado norte que sobre el lado sur.
- (13) Podemos resumir:
  - (a) En el Hemisferio Norte los vientos constantes soplan de tal manera que un observador que se sitúa con el viento soplando contra su espalda, encontrará que la baja presión se encuentra a su izquierda y la alta presión a su derecha (Ley de Buys Ballots).
  - (b) Además cuanto más fuerte sople el viento, más brusca es la caída de la presión en sentido vertical.
  - (c) Considerando cualquier plano horizontal, el flujo de aire ha de ser paralelo a las líneas de igual presión del aire (isobaras) si se desprecia la fricción. Este movimiento tendrá lugar en sentido contrario al de las agujas del reloj alrededor de los centros de baja presión (ciclones) y en el mismo sentido alrededor de los centros de alta presión (anticiclones).
  - (d) En el hemisferio sur, la dirección del movimiento es opuesta.

a. Se ha examinado la circulación como un efecto puramente dinámico, la descripción final debe ser también compatible con los procesos térmicos de la atmósfera.

- (1) Consideremos la fig. 4 de la página 511 del Handbook of Meteorology, como una solución posible.
- (2) Generalmente hablando, los manantiales de calor para la máquina de circulación son la superficie y las capas más bajas (calor latente).
- (3) En nuestra figura el aire ascendente en el ecuador pierde calor rápidamente y desciende aproximadamente a los 30° N (latitudes del caballo) ramificándose hacia el polo y hacia el ecuador.
- (4) La ramificación que se dirige hasta el polo es un viento del oeste ó del sudoeste que se encuentra con el aire frío, que se mueve hacia el ecuador aproximadamente a los 60° N. Sigue un ascenso forzado con energía suministrada por calor latente de condensación.
- (5) La circulación ciclónica (en sentido contrario a las agujas del reloj) se observa en las células extremas mirando hacia el este (célula de frente polar y la célula de los vientos alisios)
- (6) Consideremos la célula de las latitudes medias. Aquí se observan vientos del oeste en superficie y en altura, producidos por arrastre friccional de las células directas circundantes que transportan calor de los manantiales cálidos y a los fríos.
- (7) En este diagrama de la relación entre la presión y el viento, se deduce que la presión del nivel del mar debe bajar hacia el sur desde el polo a 60° N, entonces debe subir hasta aproximadamente 30° N, y después bajar hacia el ecuador.
- (8) En los niveles superiores el viento es siempre del oeste, y la presión sube continuamente desde el polo hacia el ecuador.
- (9) El esquema descrito está en buena concordancia con los hechos observados.

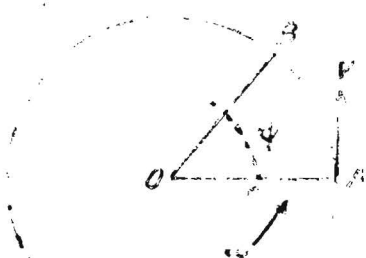
EL VIENTO.- MOVIMIENTO HORIZONTAL EN LA ATMOSFERA

a. Observaciones generales

- (1) El viento implica el movimiento del aire
- (2) Sirve para transportar el calor y la humedad de un lugar a otro.
- (3) Los movimientos verticales son importantes para producir nubes, precipitación y tormentas.
- (4) La magnitud alcanzada por los movimientos verticales es pequeña en comparación con la de los horizontales. Consideremos ahora los movimientos horizontales.
- (5) El problema es complejo, ya que la tierra y la atmósfera están ambas girando.
- (6) Discutiremos primero algunos principios elementales del movimiento de rotación.

b. Velocidad angular.

- (1) La velocidad angular es la velocidad de rotación de un cuerpo
- (2) Se expresa, generalmente, como el ángulo que un cuerpo gira en una unidad de tiempo.
- (3) Las unidades dimensionales son radianes por segundo. Una circunferencia completa de 360° tiene 2 π radianes. 180° = π radianes, 90° = π/2 radianes etc.
- (4) El movimiento rotatorio puede expresarse en función de la velocidad lineal o angular.



- (5) La relación existente entre las dos, puede determinarse usando el siguiente diagrama:
  - (a) supóngase una partícula que se mueve sobre el arco y sea s la distancia de A a B.
  - (b) r = al radio del círculo  
 $\phi$  ( $\phi$  hi) =  $\angle$  AOB  
 $\omega$  (omega) = velocidad angular  
 v = velocidad (lineal)  
 t = tiempo  
 s = distancia

(d) Ahora, el ángulo de toda la circunferencia es  $2\pi r$ , para  $r = 1$  (círculo de unidad)

(e) El arco es una fracción de esta circunferencia  $= \theta/2\pi$

(f) Por consiguiente  $s = \theta r$ .

(g) Substituyendo, en  $s = vt$

$$r = vt \quad \omega = \frac{vt}{rt} = \frac{v}{r}$$

FUERZA CENTRÍPETA Y CENTRÍFUGA

- (1) Un cuerpo en movimiento continuo en la misma dirección, en línea recta y con la misma velocidad, a menos que actúe sobre él alguna fuerza extrema. (Newton - Primera Ley de Movimiento).
- (2) Por tanto para que un cuerpo se mueva sobre una línea curva, es necesario que una fuerza actúe constantemente.
- (3) La fuerza que obliga a los cuerpos a que se muevan es una trayectoria curva es la fuerza centrípeta. Esta fuerza está siempre dirigida hacia el centro de curvatura.
- (4) Una fuerza aplicada en un movimiento curvilíneo está siempre dirigida hacia adentro. De ahí que, un frecuente desprecio de la terminología correcta conduzca a un uso indistinto de la fuerza centrípeta y centrífuga. Debemos usar, en rigor, la terminología fuerza centrípeta ó acción centrífuga. Hay verdaderamente, una fuerza centrífuga aparente, pero consideremos una piedra moviéndose en una trayectoria curva en el extremo de la cuerda.
- (5) La fuerza centrípeta puede ser calculada por la fórmula  $F = \frac{mv^2}{r}$

6. CONSERVACION DEL MOMENTO CINETICO DE ROTACION.

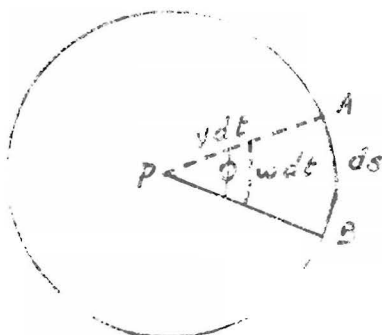
- (1) Consideremos una partícula girando alrededor de un eje, en una circunferencia de radio  $r$  con velocidad  $v$ .
- (2) Para aumentar el radio es necesario hacer el trabajo contra la acción centrífuga y en la dirección de la fuerza centrípeta.
- (3) El trabajo hecho será igual a la ganancia en energía cinética ( $\frac{1}{2} v^2$ ).
- (4) El momento circular es  $= m\omega r^2 = K$
- (5) Esto quiere decir que, como la distancia desde el centro de la rotación a la partícula se hace más pequeña, la partícula debe aumentar su velocidad angular y lineal. Se supone que no hay fuerzas extremas.
- (6) Un desplazamiento de partículas hacia el polo, las acerca más al eje de rotación y produce un aumento de la velocidad angular. Este efecto origina una aceleración aparente hacia el este
- (7) Debe hacerse trabajo sobre estas partículas de aire para moverlas hacia el polo. Al dirigirse hacia el ecuador las partículas deben realizar trabajo contra la fuerza centrípeta.

e. FUERZA DE GRAVEDAD.

- (1) Una partícula de una masa o unidad sobre la superficie de la tierra sería atraída hacia el centro de la tierra por una fuerza aproximada de 980 dinas.
- (2) Este valor varía con la latitud ( $45^\circ = 980.621$ ) de acuerdo con  $g = 980.621 (1 - 0.00264 \cos 2\phi)$
- (3) Este valor varía con la altura de acuerdo con  $g = \frac{90}{(1+z/E)^2}$  en donde  $E = 6371$  Km (radio medio de la tierra),  $z =$  altura.

f. FUERZA APARENTE SOBRE UNA TIERRA GIRATORIA (Fuerza Coriolis)

- (1) Actúa sobre cada partícula de aire cuando se mueve sobre la superficie de la tierra.
- (2) Los principios fundamentales pueden demostrarse satisfactoriamente de la manera siguiente.
  - (a) Consideremos la figura.
  - (b) Dejemos que la partícula C (en el polo Norte) se mueva libremente en la dirección inicial PA a la velocidad de  $v$ .





(c) Mientras llega al punto del espacio representado por A, la tierra habrá girado la distancia BA, la partícula habrá llegado realmente a B.

- (d) Si la tierra está girando alrededor de su eje con una velocidad de  $\omega$ , el ángulo BCA será  $\omega dt$  y la distancia PA será  $v dt$ . Supongamos que  $AB = ds$ .
- (e) Considerando un ángulo pequeño  $\omega dt = \frac{ds}{v dt}$  (1)  
así  $ds = v \omega (dt)^2$  (2)
- (f) Si la velocidad inicial es cero,  $ds = \frac{1}{2} a (dt)^2$
- (g) Igualando las (2) y (3),  $\frac{1}{2} (dt)^2 = v \omega (dt)^2$  y  $a = 2v \omega$  (4)
- (h) La fuerza que produce una aceleración es  $F = ma$  (5)
- (i) Substituyendo (4) en (5) y llamando a (4) la fuerza de Coriolis, entonces es  $F = 2m v \omega$
- (j) El componente de  $\omega$ , la velocidad angular de la tierra en cualquier latitud  $\phi$  es  $\omega \sin \phi$
- (k) Por consiguiente, cualquier latitud  $\phi$   $F = 2m v \omega \sin \phi$

(3) Puede demostrarse igualmente que esta fórmula es válida para todos los casos de partícula que se mueva libremente sobre la superficie de la tierra.

(4) Así, la fuerza Coriolis es:

- (a) Directamente proporcional a la masa
- (b) Directamente proporcional a la velocidad lineal
- (c) Directamente proporcional a la velocidad angular de la tierra.
- (d) Directamente proporcional al seno de la latitud
- (e) Siempre es la misma, no importa cual sea la dirección horizontal de la partícula.
- (f) Actúa en ángulo recto a la dirección del movimiento de la partícula, y por consiguiente, solamente puede influir sobre la dirección, nunca sobre la velocidad.

(5) En el hemisferio norte la fuerza de Coriolis, hace que una partícula se desvie hacia la derecha y en el hemisferio sur, a la izquierda. No hay desviación alguna en el ecuador.

g. FUERZA DEL GRADIENTE DE PRESION.

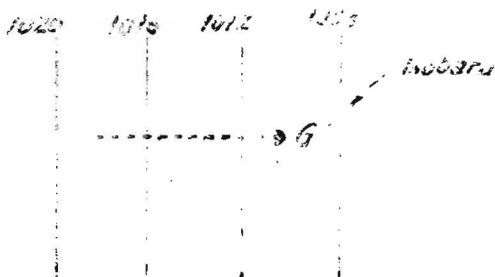
(1) El camino más directo de la alta a la baja presión, es aquel a lo largo del cual la presión esté cambiando más rápidamente y se llama el gradiente de presión. Este término tiene la dirección opuesta a la del crecimiento de la presión.

(2) Este gradiente tiene dirección y módulo (es un vector)

Observese que G es normal a las isobaras.

(3) Suponiendo solo una fuerza del gradiente de presión, que actúa en el plano horizontal, el viento soplará directamente a través de las isobaras, en la dirección de G y, para una masa dada, con una aceleración proporcional a la magnitud de G.

(4)  $G = a$  la disminución de la presión con la unidad de distancia a lo largo de una línea normal a las isobaras (Véanse las figuras).



$$\frac{\partial P}{\partial n} = \sqrt{\left\{ \frac{\partial P}{\partial x} \right\}^2 + \left\{ \frac{\partial P}{\partial y} \right\}^2}$$

(5) Dimensionalmente  $G = \frac{\text{fuerza}}{\text{volumen}}$

(6) Si se escoge una unidad de masa, el volumen es el volumen específico,  $v = \frac{1}{\rho}$  donde  $\rho$  es la densidad. Esta última tiene las dimensiones de vol/masa.

(7) Así  $\frac{1}{\rho} G = \frac{\text{volumen}}{\text{masa}} G = \frac{\text{volumen}}{\text{masa}} \cdot \frac{\text{fuerza}}{\text{volumen}} = \frac{\text{fuerza}}{\text{masa}}$

(8) Así  $\frac{1}{\rho} G = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}$

(9) Esta fuerza tiene los componentes  $F_x = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x}$   $F_y = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y}$

(10) Si se toma uno de los ejes (x ó y) normal a las isobaras, solamente se necesita considerar una sola componente.

**h. RESULTANTE DE LA FUERZA DEL GRADIENTE DE PRESIÓN (FUERZA REAL) Y LA DE CORIOLIS (APARENTE), VIENTO GEOSTRÓFICO.**

(1) La fuerza del gradiente de presión (G), está dirigida en sentido contrario al gradiente de presión y por consiguiente es negativa. Actúa sobre una unidad de masa de aire de tal manera que la empuja desde la presión alta hacia la baja.

(2) La fuerza de Coriolis (f) sobre una unidad de masa está dirigida hacia la derecha y en ángulo recto al viento. (hemisferio norte)

(3) Sin fricción, el flujo es estacionario cuando la fuerza del gradiente de presión equilibra la de Coriolis y el viento correspondiente se llama viento geostrófico.

$$\frac{-1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} = 2\omega v \sin \varphi$$

(4) Si ponemos  $c = v$  a la velocidad real geostrófica, podemos despejar  $c$  y así obtener la ecuación para la velocidad del viento geostrófico.

$$c = \frac{G}{2\omega \rho \sin \varphi} = \frac{G}{f} \quad ; \quad f = 2\omega \sin \varphi$$

(5) El equilibrio geostrófico generalmente se aplica al viento en el aire superior donde los efectos de fricción son prácticamente despreciables y las isobaras muestran muy poca curvatura.

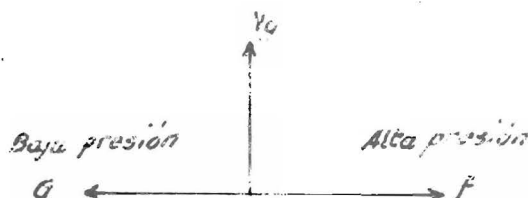
(6) La velocidad angular de la tierra ( $\Omega$ ) es  $2\pi$  radian en 24 horas ó  $\frac{2\pi}{86400} = 7.27 \times 10^{-5}$  radianes/s

(7) Así  $2\Omega \sin \varphi = 1.45 \times 10^{-4} \sin \varphi$

(8) Así, el viento geostrófico es mayor

- (a) Cuanto más juntas estén las isobaras.
- (b) Cuanto más baja sea la latitud.
- (c) Cuanto más baja sea la densidad

(9) La dirección del viento geostrófico (V g) en relación con el gradiente de presión y la fuerza de Coriolis, queda indicada abajo para el hemisferio norte.



(10) Así, si un hombre se sitúa en pie en el hemisferio norte dándole la espalda al viento, tendrá a su derecha la alta presión y a su izquierda la baja presión. (Ley de Buys Ballots)

(11) Ahora, podemos continuar:

(a) Un ciclón o depresión es el centro o área de baja presión mientras que un anticiclón o alta es un centro o área de alta presión.

(b) Sin fricción el flujo geostrófico tendrá lugar a lo largo de las isobaras, pero en los ciclones y anticiclones las isobaras son curvas. El viento sigue la curvatura en sentido contrario al movimiento de las agujas del reloj en torno a los ciclones (bajas) y en el

mismo sentido en torno de los anticiclones (altas).

(12) El aire que se mueve en una trayectoria curva, requiere tener en cuenta la fuerza centrípeta. Pero resulta más conveniente aquí considerarlo desde el punto de vista de la acción centrífuga.

(a) La acción centrífuga en un anticiclón está en la misma dirección que el gradiente de presión (alejándose del centro).

(b) La acción centrífuga de un ciclón es opuesta a la fuerza del gradiente de presión.

(c) De  $c = -\frac{G}{\rho f}$  Entonces  $\frac{G}{\rho} = fc + \frac{c^2}{r}$  (ciclón)

$\frac{G}{\rho} = fc - \frac{c^2}{r}$  (anticiclón.)

En donde r = radio de curvatura del movimiento real.

(d) Resolviendo estas ecuaciones cuadráticas

$$c = -\frac{r}{2} \left[ \sqrt{f^2 + \frac{4G}{\rho r}} - f \right] \quad (\text{ciclón})$$

$$c = -\frac{r}{2} \left[ f - \sqrt{f^2 - \frac{4G}{\rho r}} \right] \quad (\text{Anticiclón})$$

(e) El valor obtenido de c es el viento del gradiente (lo mismo que el geostrófico Excepto que se considera la curvatura de la trayectoria)

(f) Podemos concluir teniendo en cuenta las ecuaciones anteriores que para valores dados de G y r, c será mayor en un anticiclón que en un ciclón, esto relativamente, no tiene importancia, ya que un anticiclón tiende a tener un radio de curvatura más grande.

(g) El viento gradiente sigue a las isobaras con la baja presión al lado izquierdo, en la misma forma que el viento geostrófico. (Fig. 92 Byers).

(13) El cálculo del viento geostrófico para trazar isobaras o para determinar los vientos a partir de las isobaras, puede hacerse mucho más fácilmente con el empleo de un monograma adecuado.

### ESECTOS DE LA FRICCIÓN

(1) La fricción se puede tratar como una fuerza que actúa en una dirección opuesta a la del flujo y proporcional al cuadrado de la velocidad.

(a) Sobre la superficie de la tierra la corriente tiene un componente a través de las isobaras y hacia las presiones mas bajas.

1- Esta componente es mayor a medida que el terreno es más accidentado.

2 La fricción reduce la velocidad del viento y por consiguiente disminuye la fuerza de Coriolis.

3 El ángulo que el viento forma con las isobaras varfa desde 10° hasta 45° dependiendo de lo accidentado de la superficie.

(b) ~~Cada~~ capa ejerce verticalmente un arrastre por fricción en el aire situado encima y debajo de ella.

(c) La fricción en el suelo afecta por lo menos hasta los 500 m. En este nivel el viento corresponde al gradiente en superficie (nivel del gradiente).