



# Meteorología y Climatología



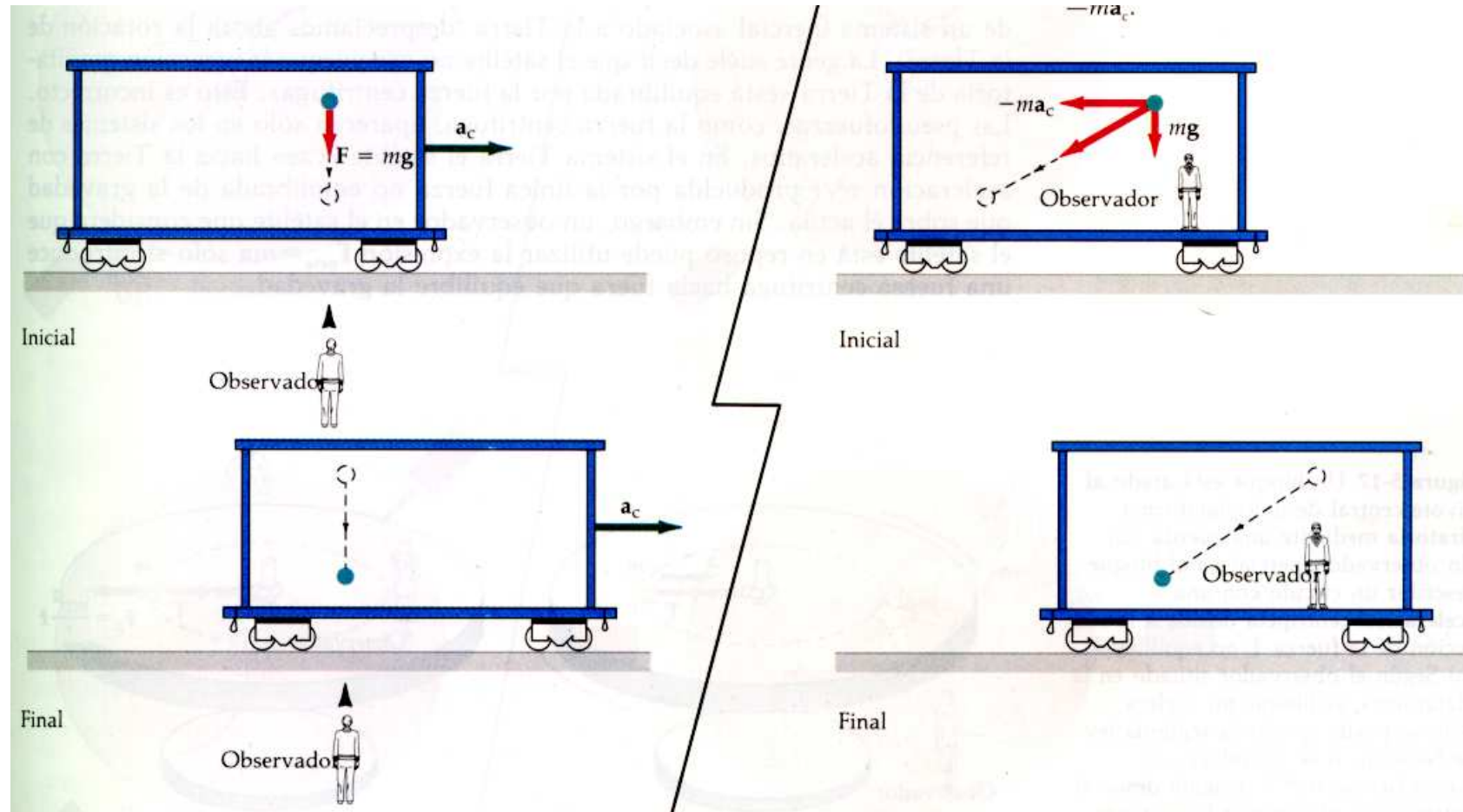
3º Ciencias Ambientales  
Departamento de Física Aplicada  
Universidad de Granada

# Dinámica Atmosférica

- Introducción. Fuerzas inerciales
  - Observadores inerciales y no inerciales
  - Observador no inercial en rotación
  - Fuerza de Coriolis
- Ecuación del movimiento
- Campo horizontal de presiones
  - Reducción de presión
  - Gradiente horizontal de presiones
  - Presión-Densidad
  - Isohipsas
- Coordenadas intrínsecas. Ecuación del movimiento.
- Flujo horizontal sin rozamiento
  - Viento geostrófico
  - Viento del gradiente
  - Efecto del rozamiento
- Viento térmico. Advección térmica.
- Regímenes de vientos locales y de pequeña escala
- Medidas de presión y viento

# ECUACIÓN DE MOVIMIENTO

## OBSERVADORES INERCIAL Y NO INERCIAL



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

$$\sum F = mg$$

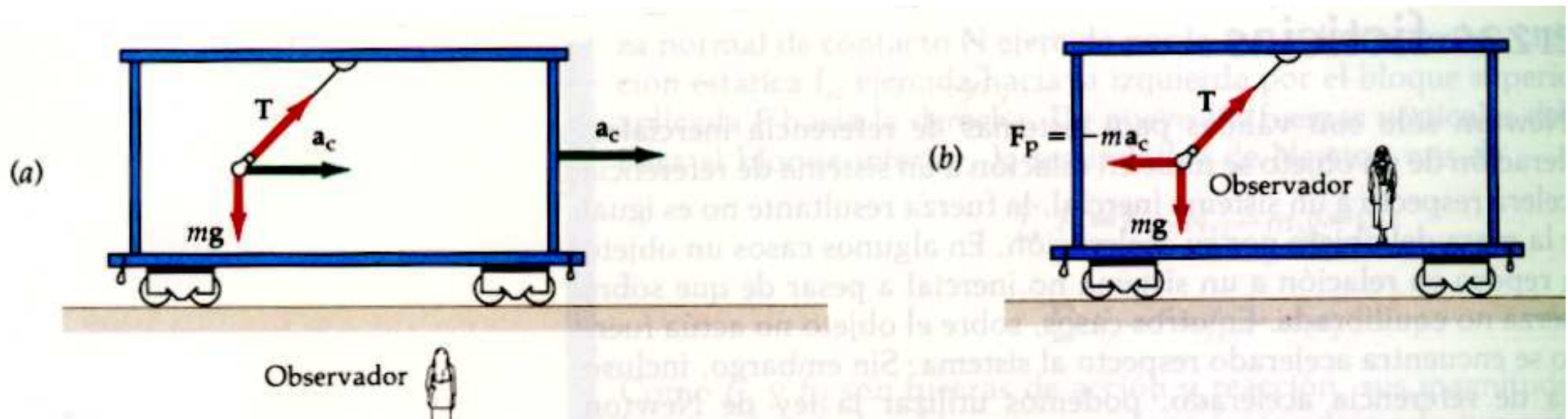
$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

$$\sum F = mg + (-ma_c)$$



# ECUACIÓN DE MOVIMIENTO

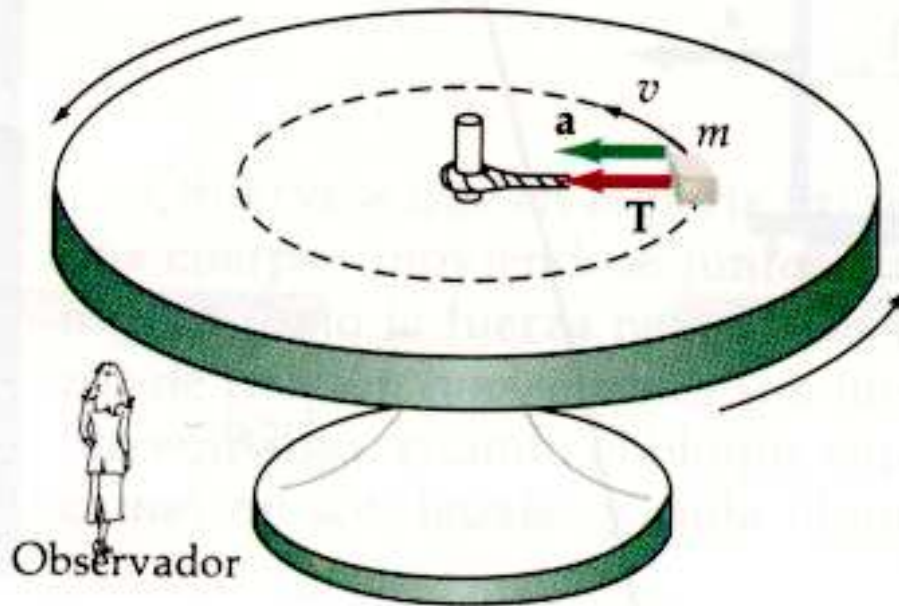
## OBSERVADORES INERCIAL Y NO INERCIAL



$$\begin{aligned}\sum \vec{F} &= m\vec{a} \\ \sum \vec{F} &= m\vec{g} + \vec{T} \\ m\vec{g} + \vec{T} &= m\vec{a}_c\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum \vec{F} &= m\vec{a} \\ \sum \vec{F} &= m\vec{g} + \vec{T} + (-m\vec{a}_c) \\ m\vec{g} + \vec{T} + (-m\vec{a}_c) &= 0\end{aligned}$$

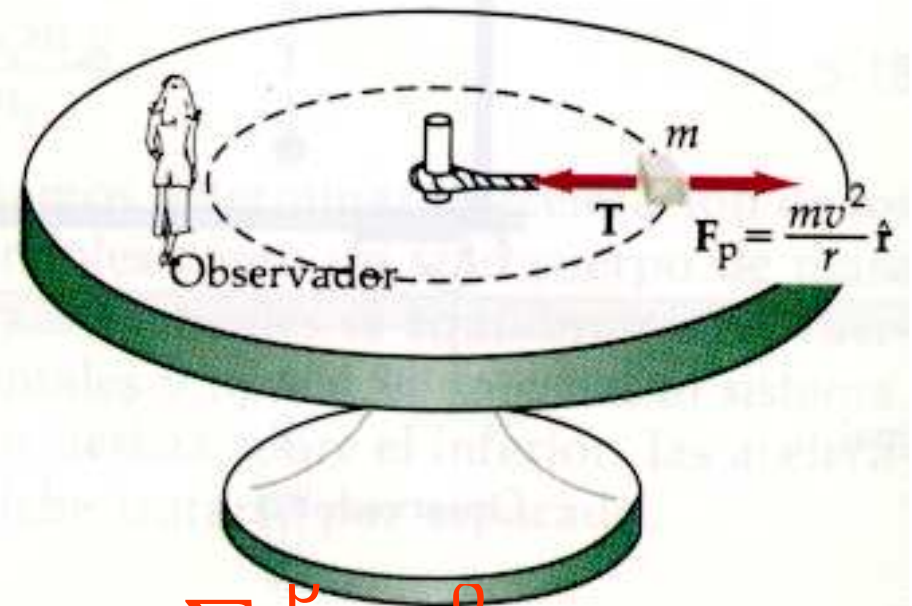
# OBSERVADOR NO INERCIAL SISTEMA EN ROTACIÓN



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

$$\sum \vec{F} = \vec{T}$$

$$\vec{T} = m\vec{a} = -m\frac{v^2}{r}\hat{r}$$

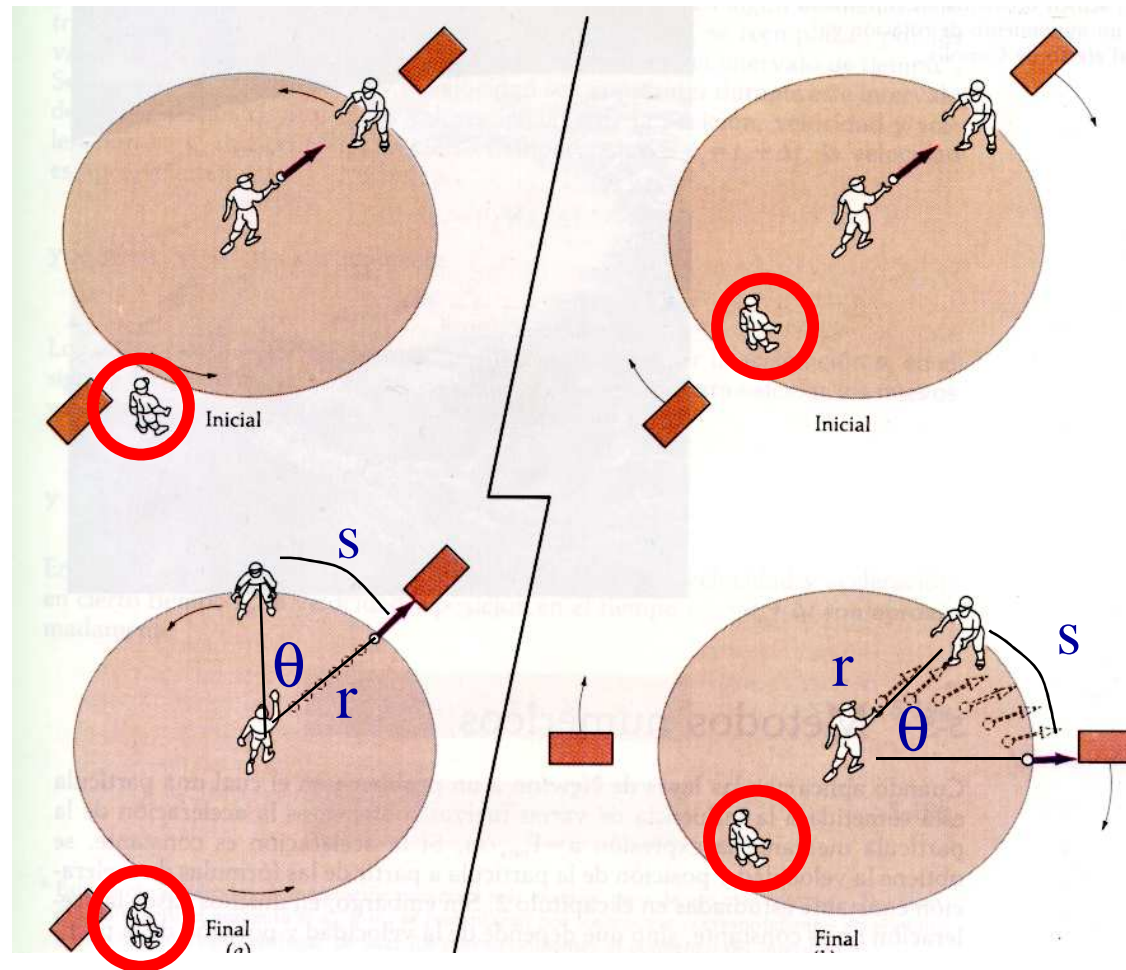


$$\sum \vec{F} = m\vec{a} = 0$$

$$\sum \vec{F} = \vec{T} + m\frac{v^2}{r}\hat{r}$$

$$\vec{T} + m\frac{v^2}{r}\hat{r} = 0$$

# ACELERACIÓN DE CORIOLIS



$$r = vt$$

$$s = \theta r = \omega tr = \omega vt^2$$

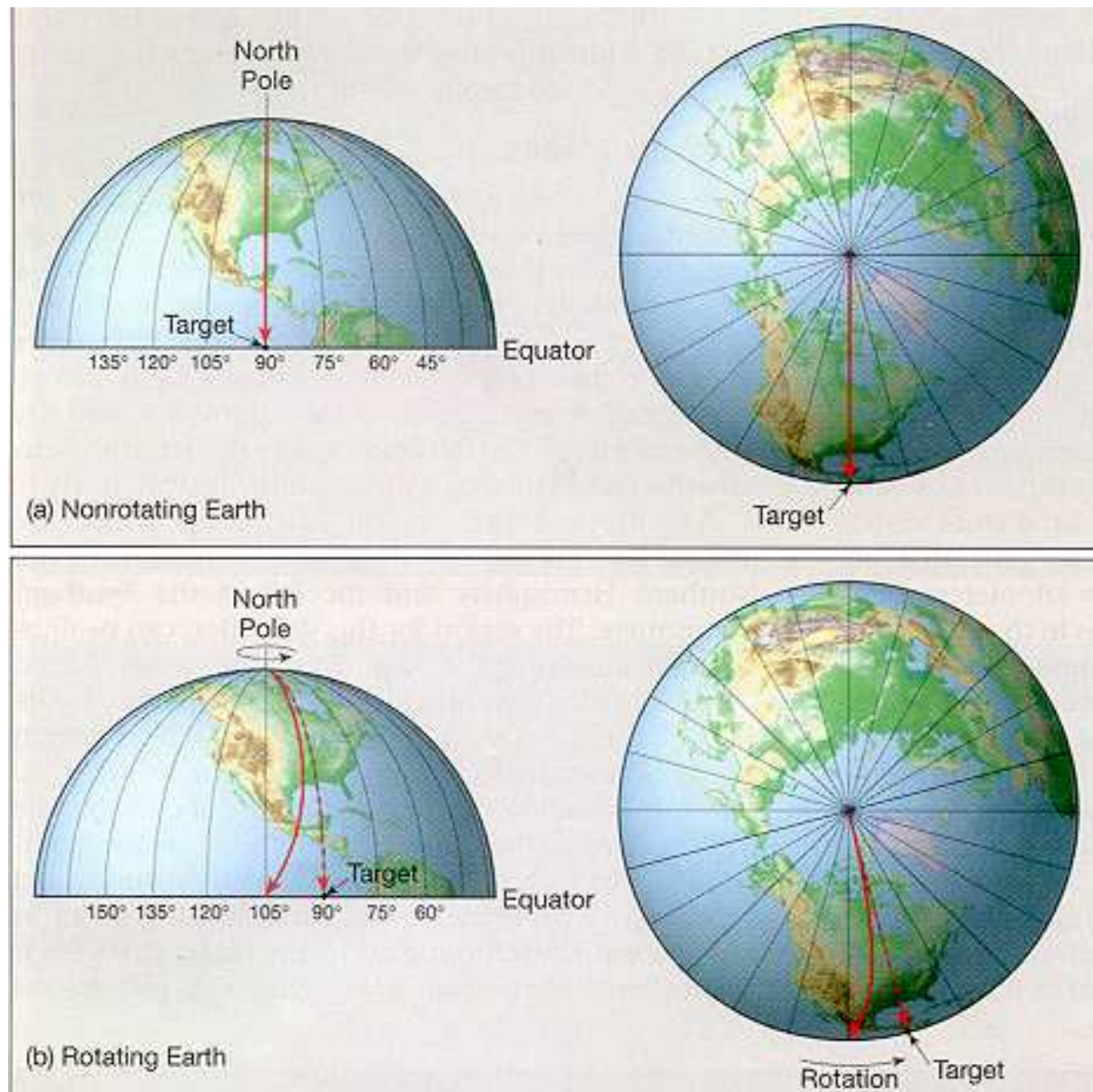
$$s = \frac{1}{2} at^2 \rightarrow$$

$$a_{Coriolis} = 2\omega v$$

# ACELERACIÓN DE CORIOLIS

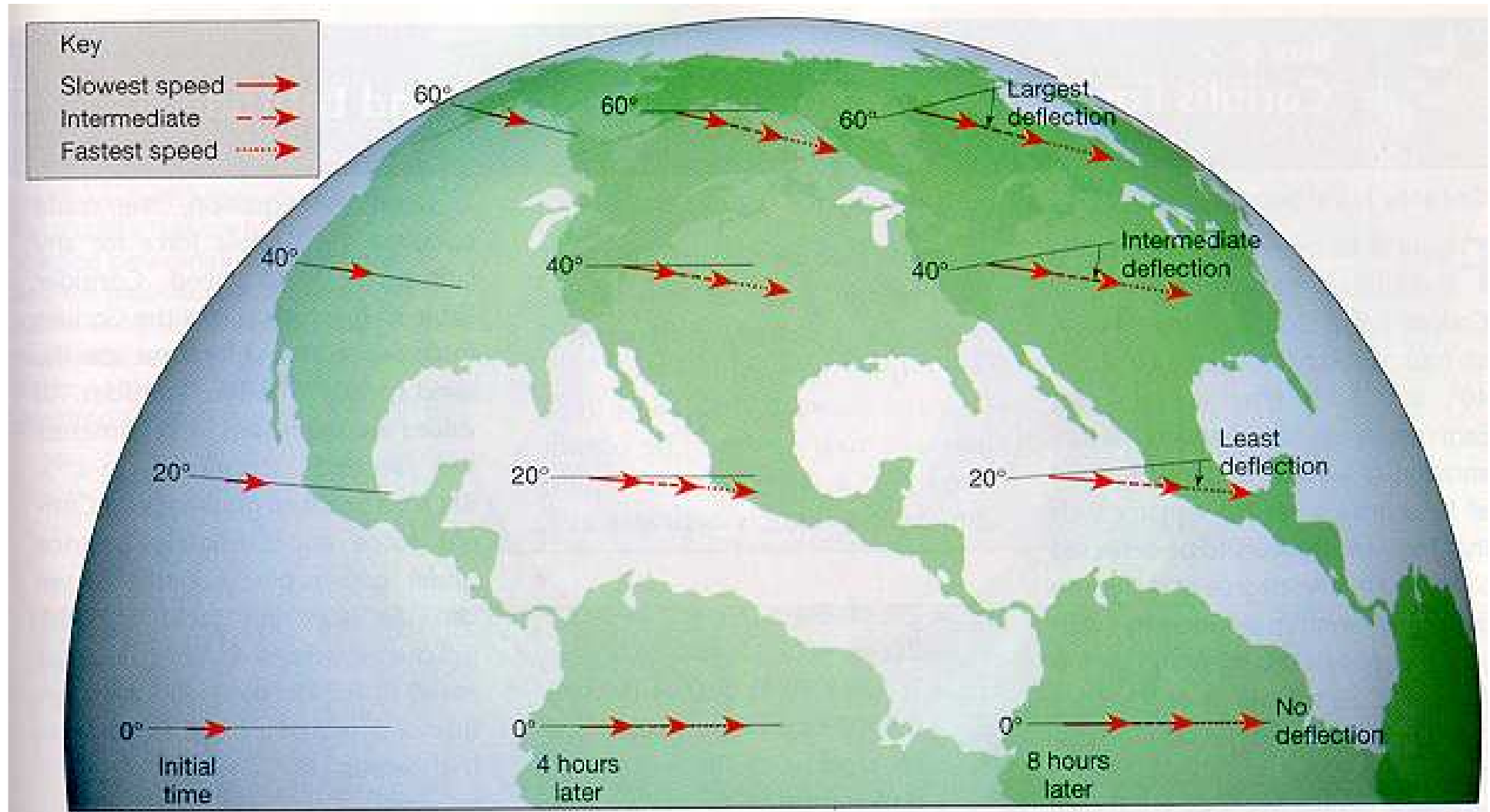


# ACELERACIÓN DE CORIOLIS





# EFECTO DE LA ACELERACIÓN DE CORIOLIS



# Dinámica Atmosférica

- Introducción. Fuerzas inerciales
  - Observadores inerciales y no inerciales
  - Observador no inercial en rotación
  - Fuerza de Coriolis
- Ecuación del movimiento
- Campo horizontal de presiones
  - Reducción de presión
  - Gradiente horizontal de presiones
  - Presión-Densidad
  - Isohipsas
- Coordenadas intrínsecas. Ecuación del movimiento.
- Flujo horizontal sin rozamiento
  - Viento geostrófico
  - Viento del gradiente
  - Efecto del rozamiento
- Viento térmico. Advección térmica.
- Regímenes de vientos locales y de pequeña escala
- Medidas de presión y viento

# ECUACION DE MOVIMIENTO

## OBSERVADOR INERCIAL

$$\vec{a} = \vec{g}_o + \vec{b} + \vec{F}_r$$

$$\vec{g}_o = -G \frac{M}{r^3} \vec{r}$$

$\vec{b}$  = fuerzas de presión

$\vec{F}_r$  = fuerza de rozamiento

## OBSERVADOR NO INERCIAL ROTANDO EN EL SISTEMA TERRESTRE

$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{\Omega} \times (\vec{\Omega} \times \vec{r}) + 2\vec{\Omega} \times \vec{v}' = \vec{g}_o + \vec{b} + \vec{F}_r$$

$$\vec{a}' = \vec{g}_o + \vec{b} + \vec{F}_r - \vec{\Omega} \times (\vec{\Omega} \times \vec{r}) - 2\vec{\Omega} \times \vec{v}'$$

$$-\vec{\Omega} \times (\vec{\Omega} \times \vec{r}) = \Omega^2 R \Rightarrow \text{f. centrífuga}$$

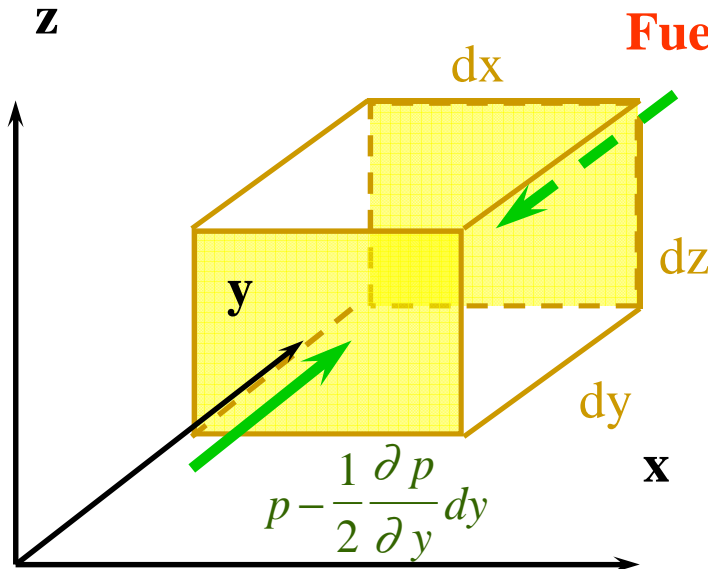
$$-2\vec{\Omega} \times \vec{v}' \Rightarrow \text{f. Coriolis}$$

# ECUACION DE MOVIMIENTO

Despreciando la fuerza de rozamiento

$$\vec{a}' = \vec{g}_o + \Omega^2 \vec{R} + \vec{b} - 2\vec{\Omega} \times \vec{v}'$$

Fuerza debida a la presión



$$p + \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial y} dy$$

$$\left[ \left( p - \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial y} dy \right) - \left( p + \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial y} dy \right) \right] dx dz = \frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz$$

$$\vec{b} = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial p}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial p}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial p}{\partial z} \vec{k} \right) = -\frac{\nabla p}{\rho}$$

Fuerza de “gravedad” en el sistema terrestre  $\vec{g}$

$$\vec{g} = \vec{g}_o + \Omega^2 \vec{R}$$

Depende de la latitud local

Ecuación de movimiento

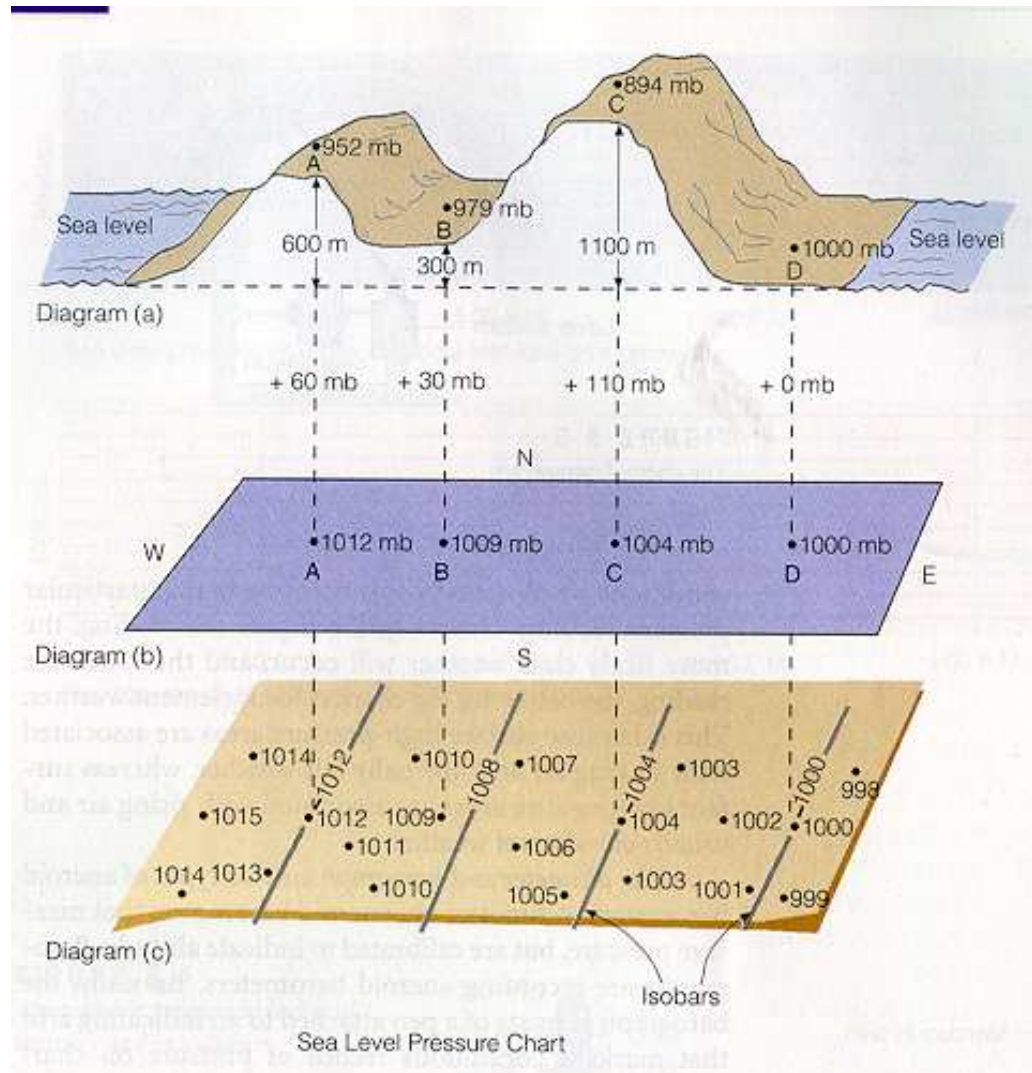
$$\vec{a}' = \vec{g} - 2\vec{\Omega} \times \vec{v}' - \frac{\nabla p}{\rho}$$



# Dinámica Atmosférica

- Introducción. Fuerzas inerciales
  - Observadores inerciales y no inerciales
  - Observador no inercial en rotación
  - Fuerza de Coriolis
- Ecuación del movimiento
- Campo horizontal de presiones
  - Reducción de presión
  - Gradiente horizontal de presiones
  - Presión-Densidad
  - Isohipsas
- Coordenadas intrínsecas. Ecuación del movimiento.
- Flujo horizontal sin rozamiento
  - Viento geostrófico
  - Viento del gradiente
  - Efecto del rozamiento
- Viento térmico. Advección térmica.
- Regímenes de vientos locales y de pequeña escala
- Medidas de presión y viento

# REDUCCIÓN DE PRESIÓN



Barómetros a altitudes diferentes

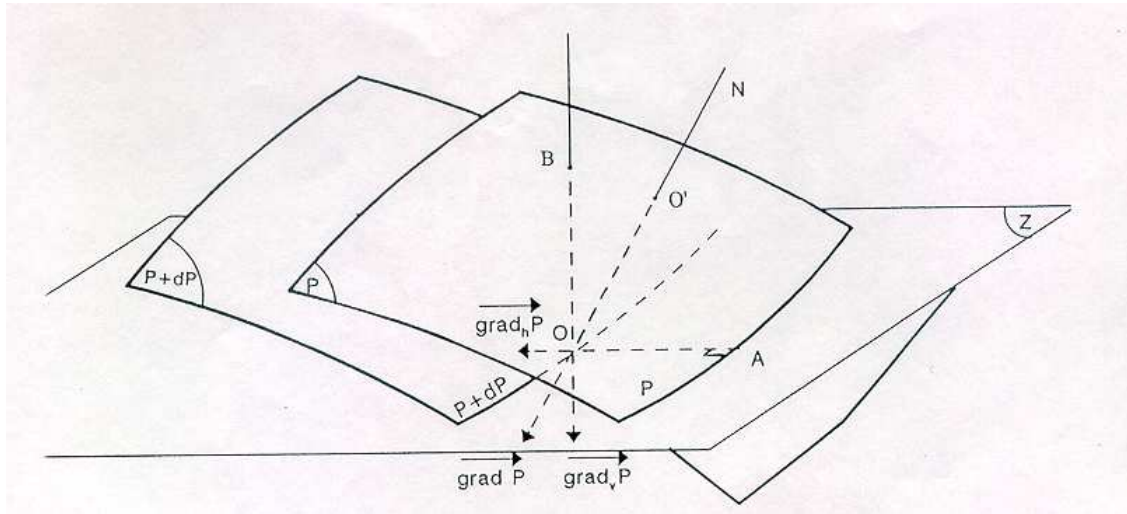
Corregir por el efecto de altitud

Desarrollar un mapa de isobaras

$$g(z_2 - z_1) = -R_d \int_1^2 T_v d(\ln p) = R_d \overline{T_v} \ln \frac{p_1}{p_2}$$

(del Tema 4)

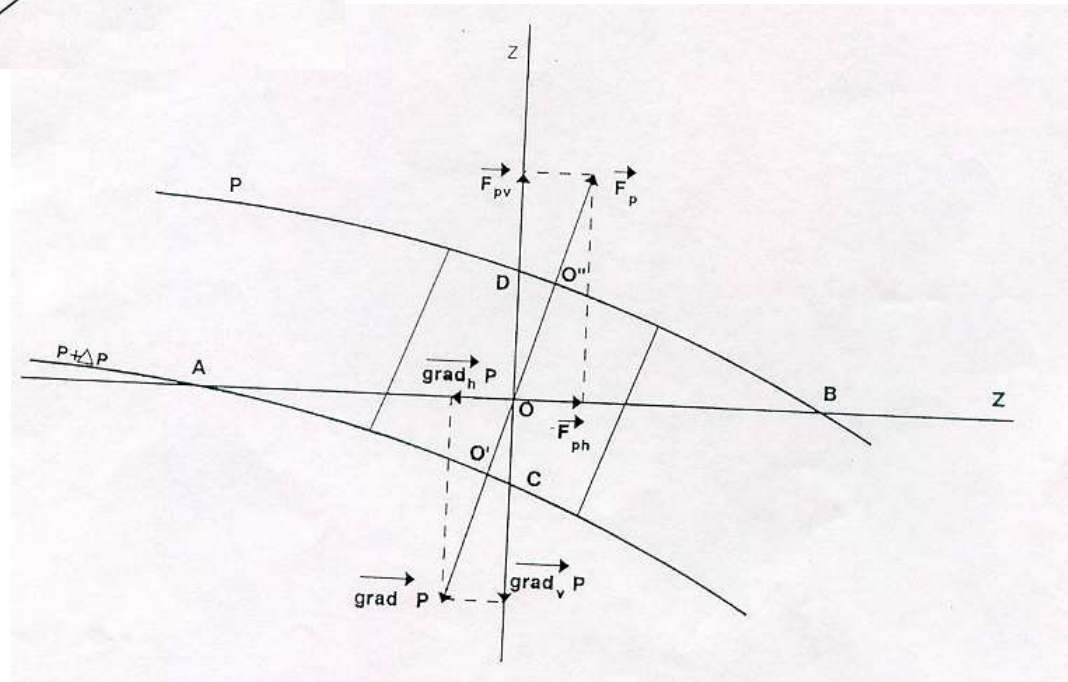
# GRADIENTE HORIZONTAL DE PRESIÓN



Superficies isobáricas no tienen que ser planos horizontales ( $z=\text{cte}$ )

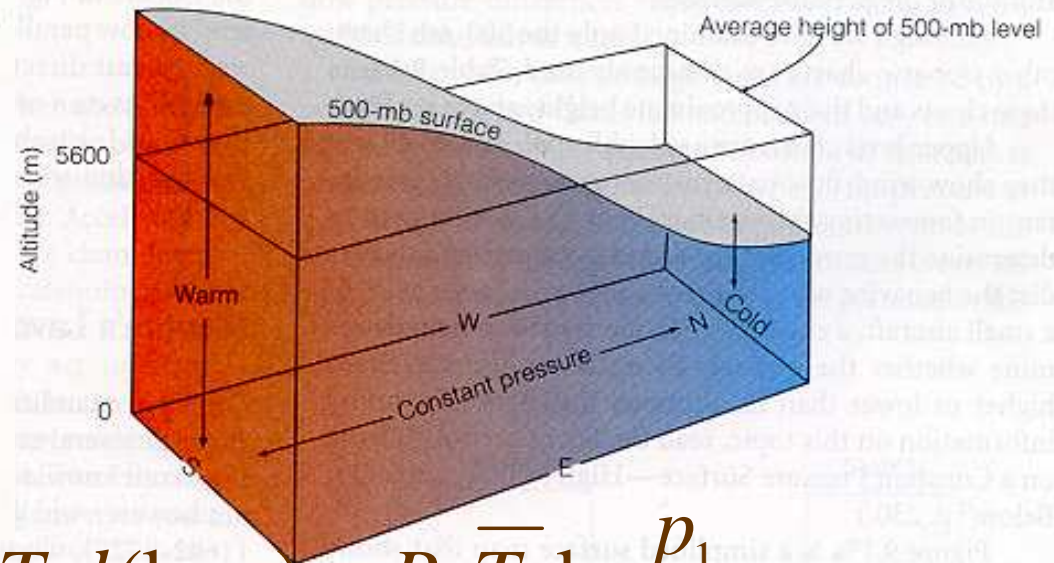
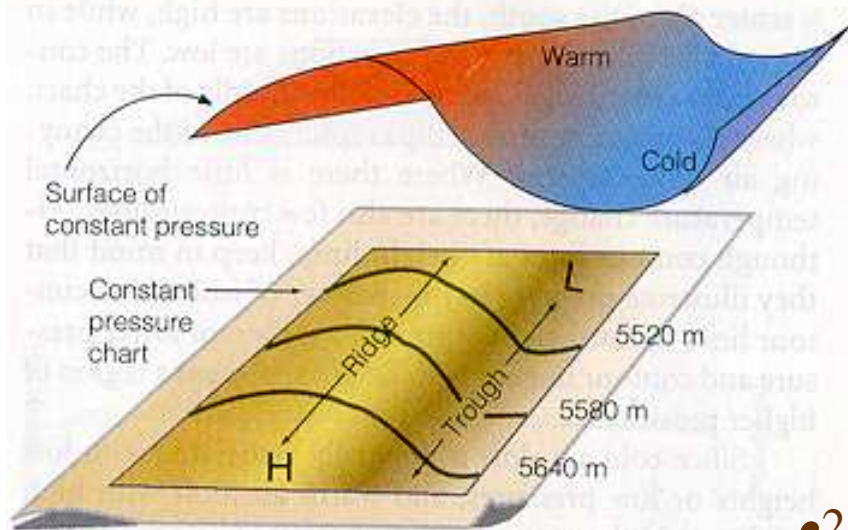
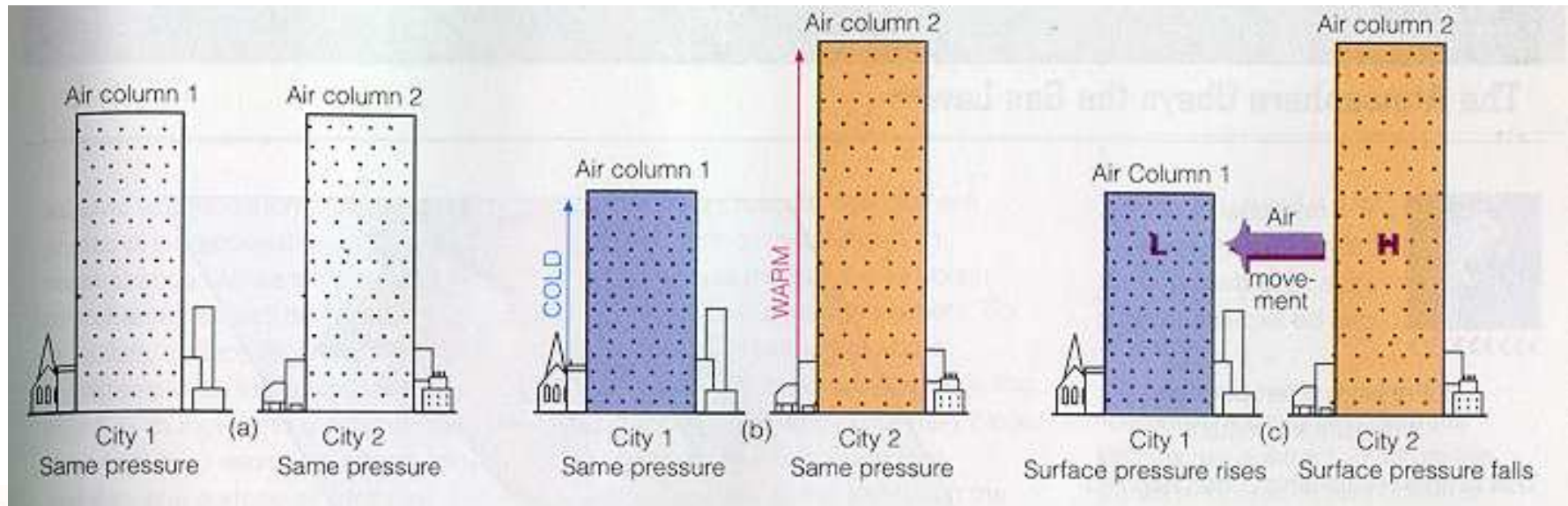
Equilibrio hidrostático:

$\text{grad}_v P$  se compensa con la fuerza peso





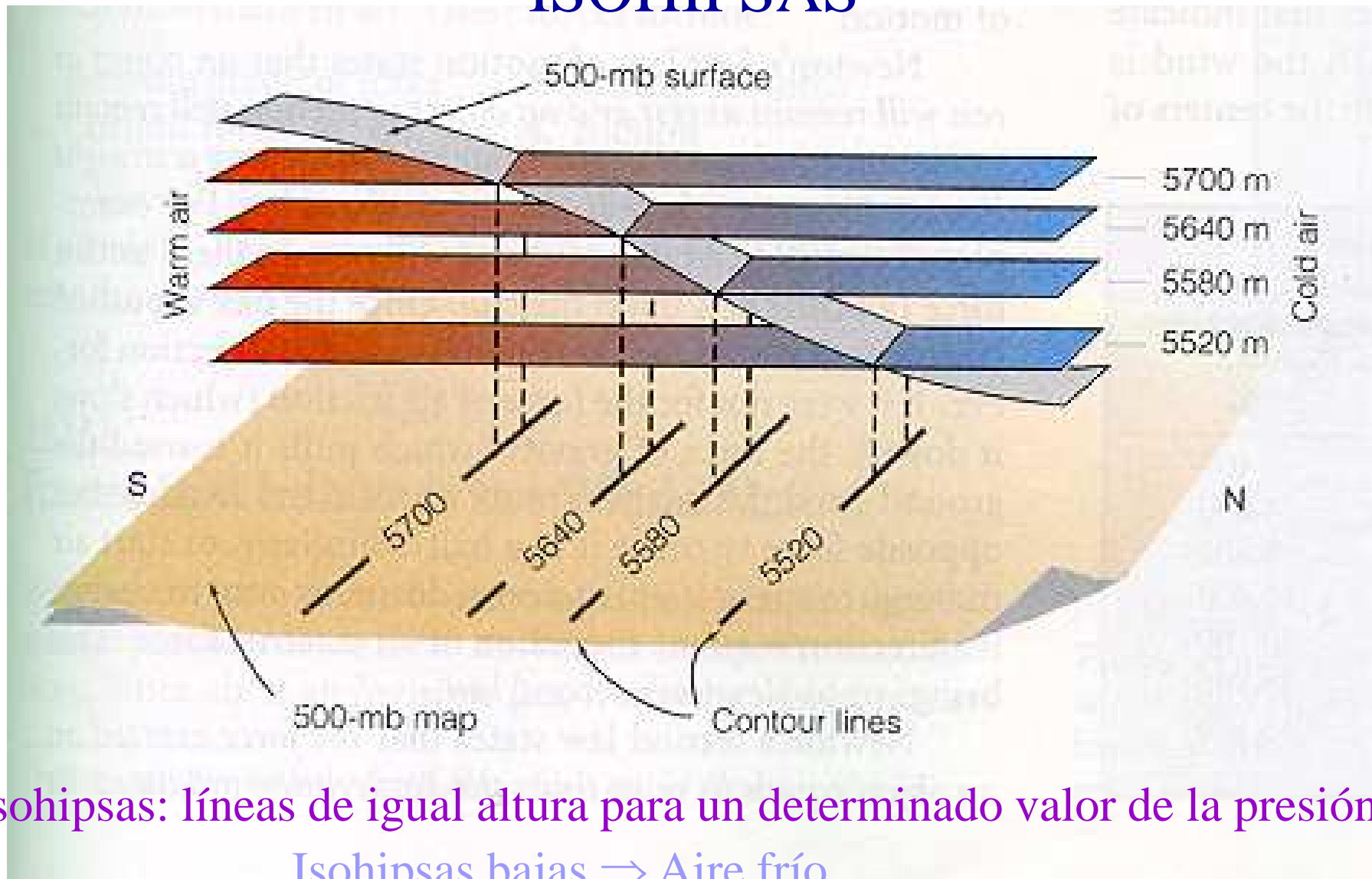
# PRESIÓN-DENSIDAD



$$g(z_2 - z_1) = -R_d \int_1^2 T_v d(\ln p) = R_d \bar{T}_v \ln \frac{p_1}{p_2}$$



# ISOHIPSAS



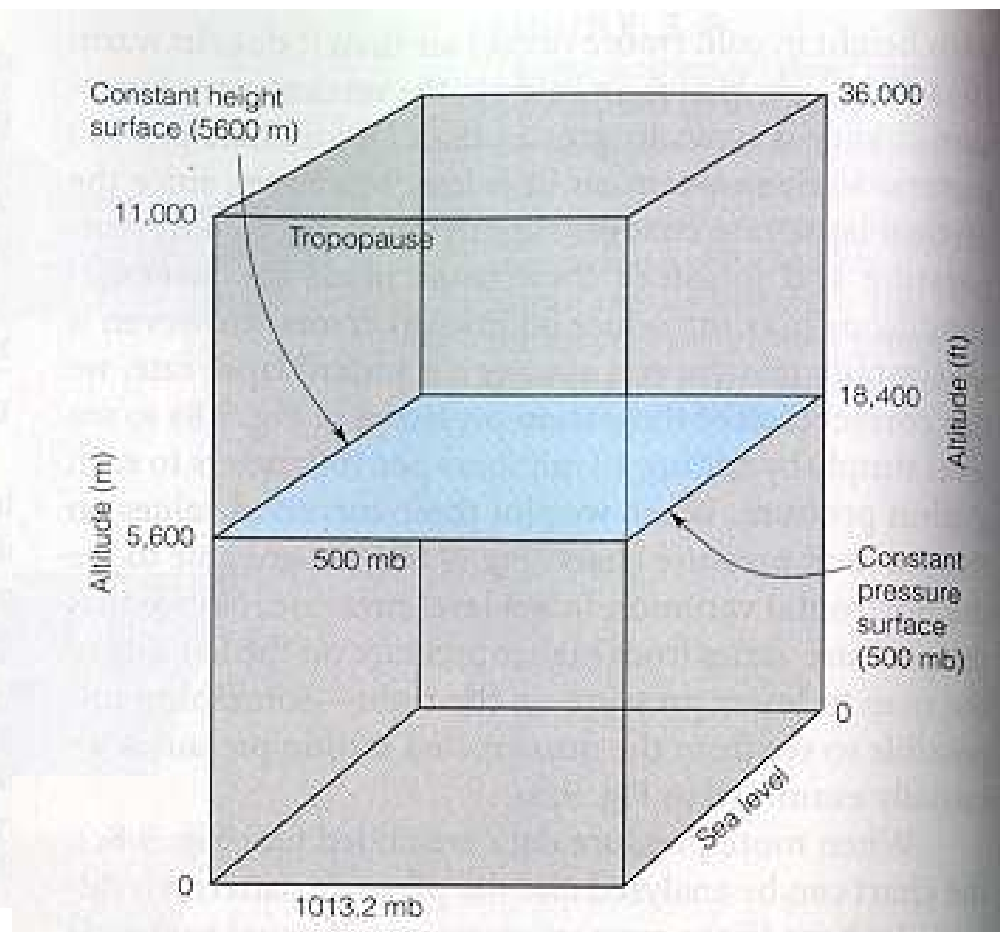
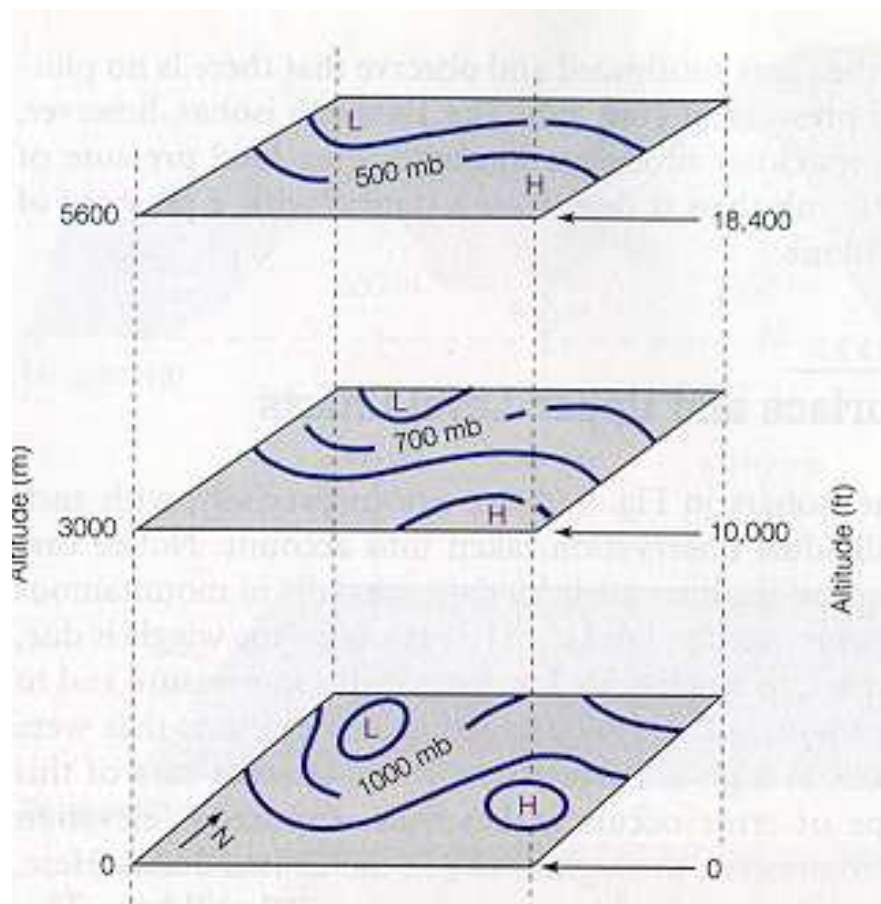
Isohipsas: líneas de igual altura para un determinado valor de la presión

Isohipsas bajas  $\Rightarrow$  Aire frío

Isohipsas altas  $\Rightarrow$  Aire cálido

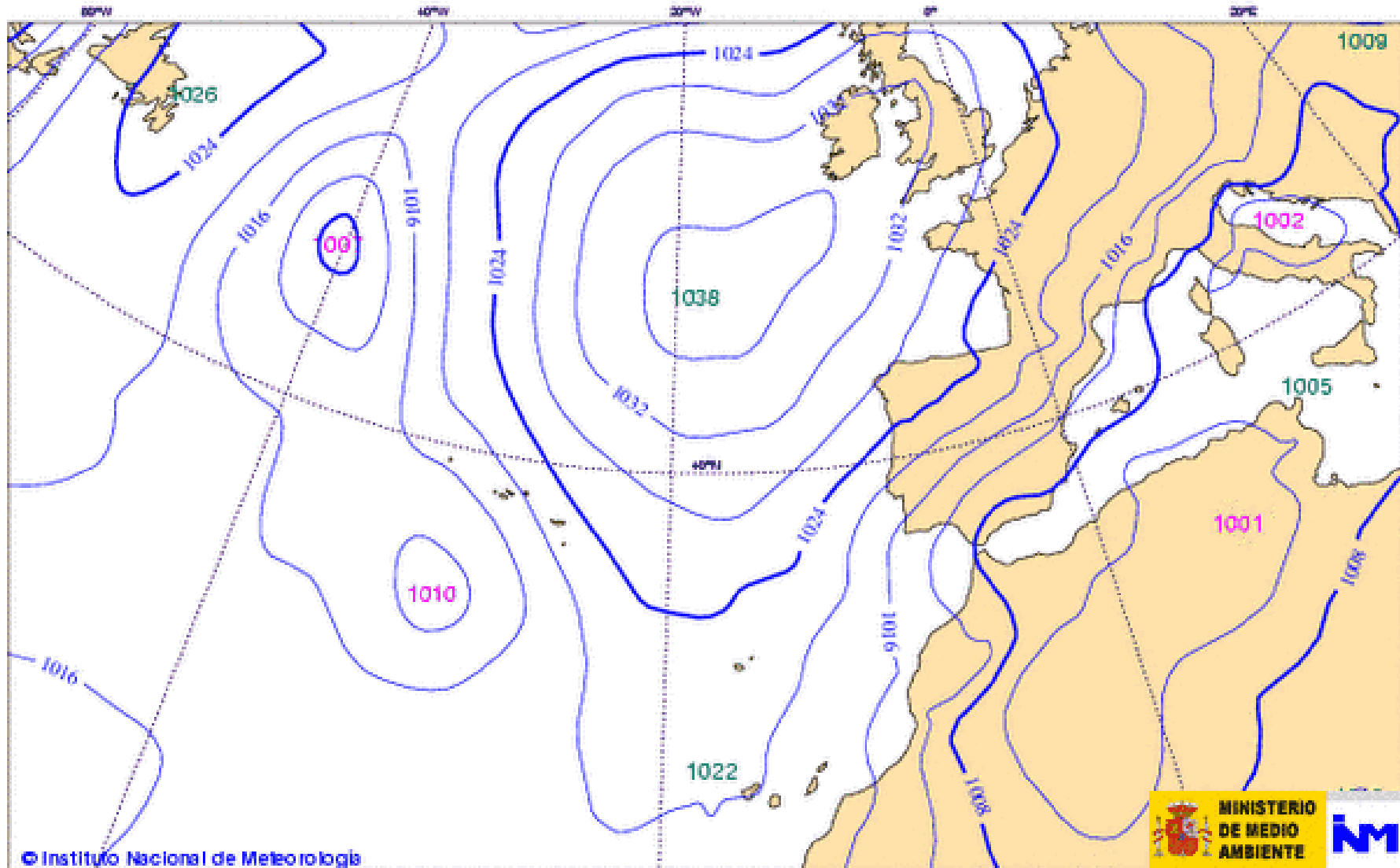
# SUPERFICIES ISOBARICAS

## SUPERFICIES DE NIVEL



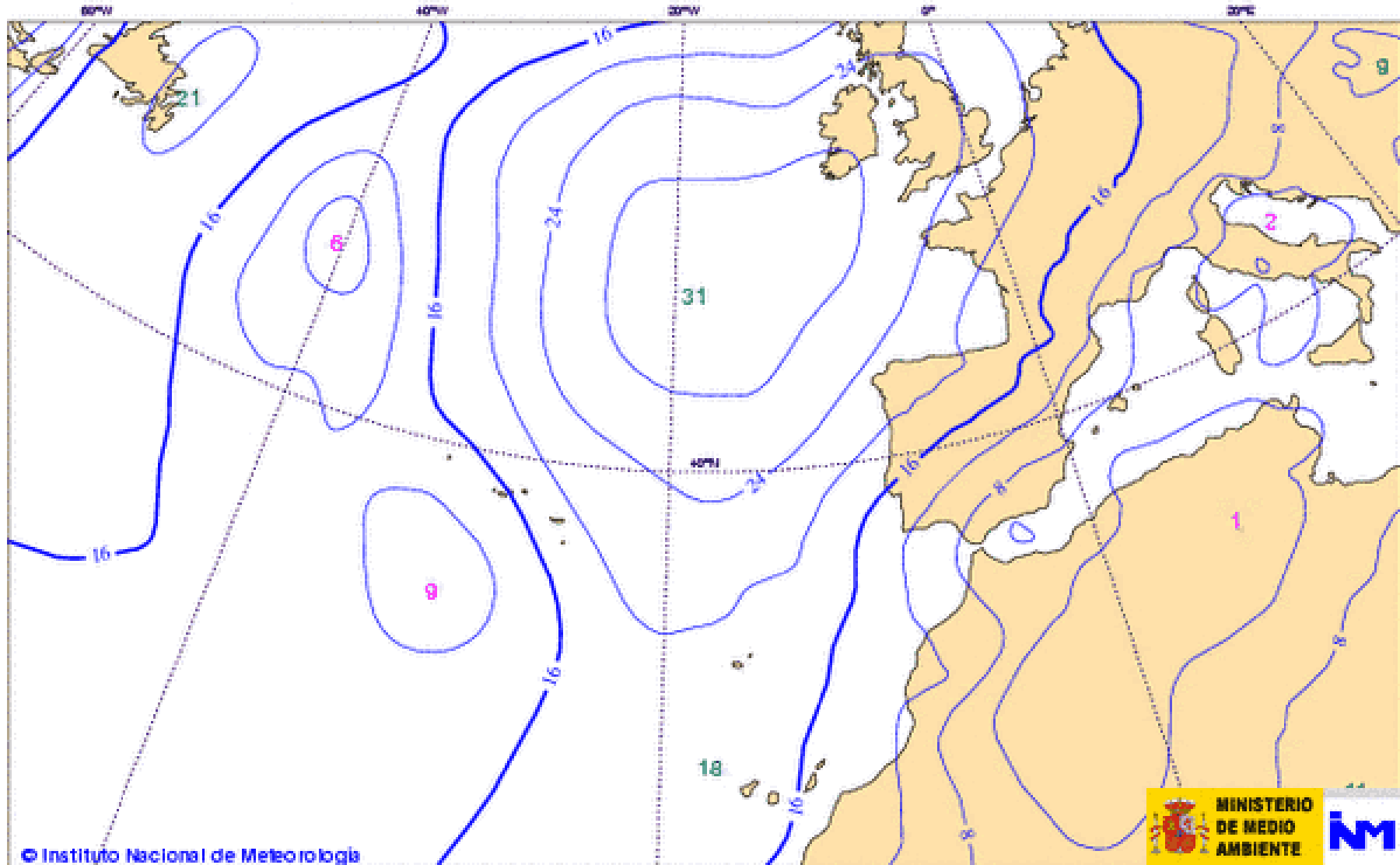
# MAPA PRESIÓN DE SUPERFICIE

Viernes 9 Noviembre 2001 12UTC Predicción H+ 6 VAL: Viernes 9 Noviembre 2001 18UTC  
0 hPa Presión



# ISOHIPSAS SUPERFICIE DE 1000hPa

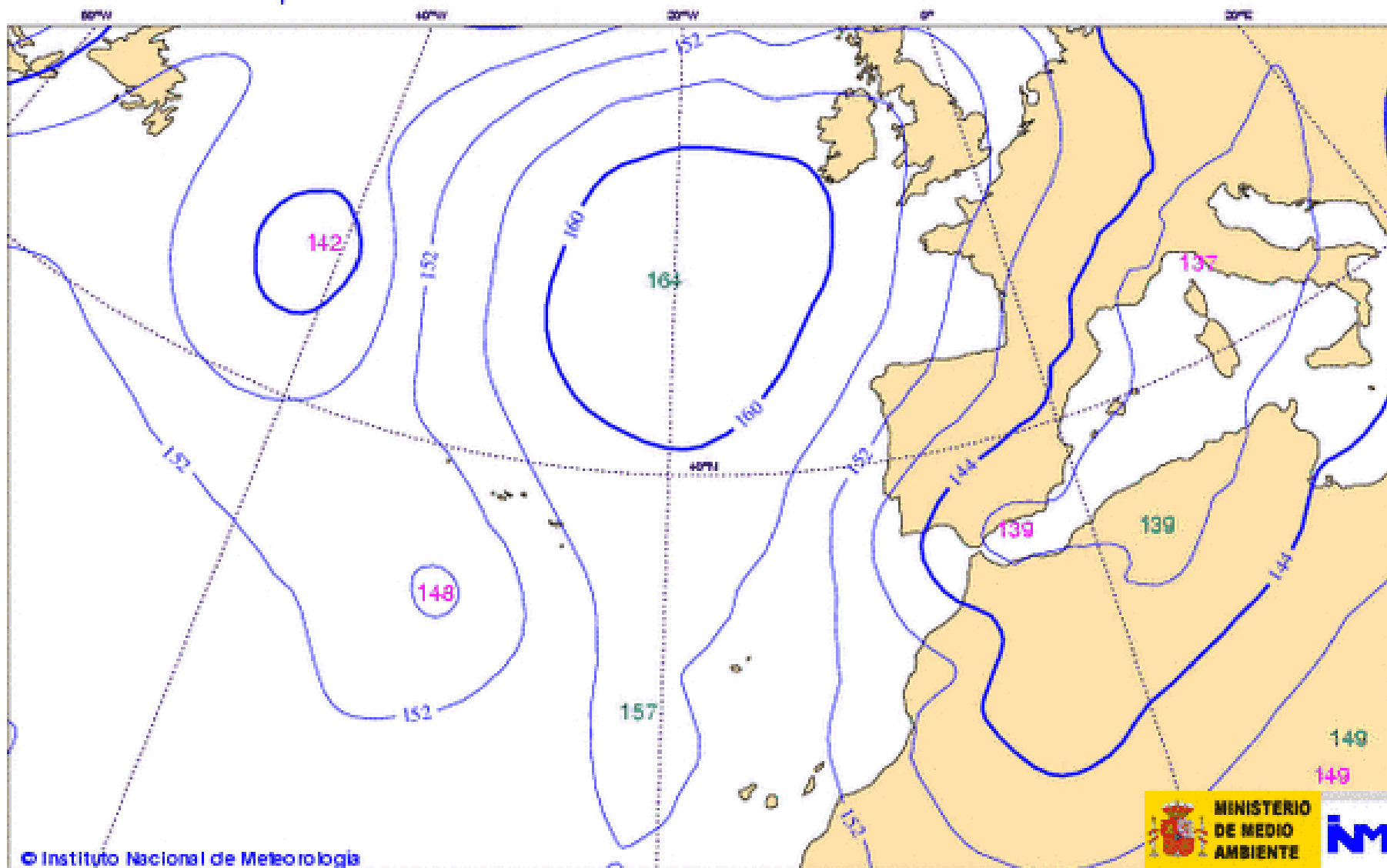
Viernes 9 Noviembre 2001 12UTC Predicción H+ 6 VAL: Viernes 9 Noviembre 2001 18UTC  
1000 hPa Altura Geopotencial





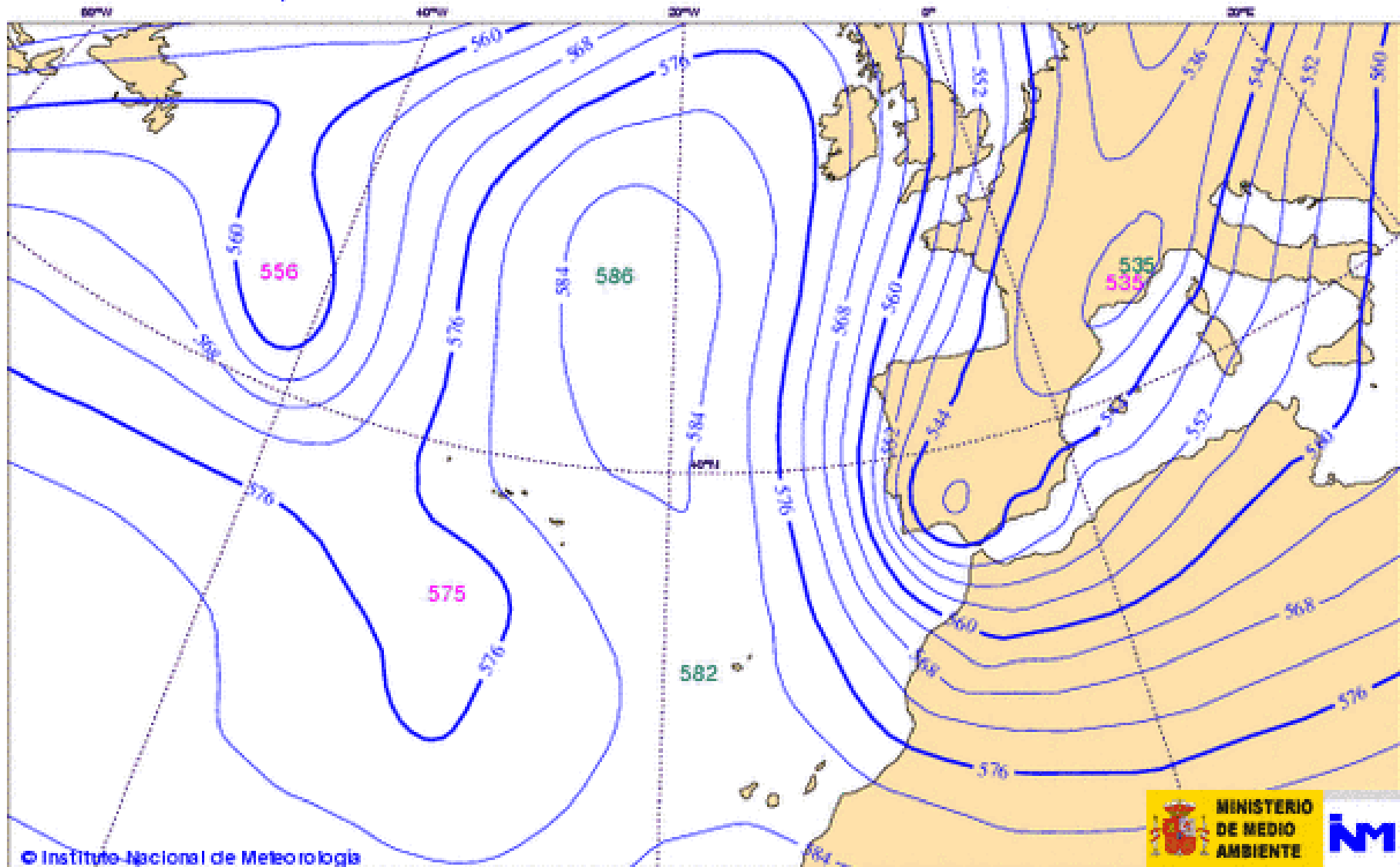
# ISOHIPSAS SUPERFICIE DE 850hPa

Viernes 9 Noviembre 2001 12UTC Predicción H+ 6 VAL: Viernes 9 Noviembre 2001 18UTC  
850 hPa Altura Geopotencial



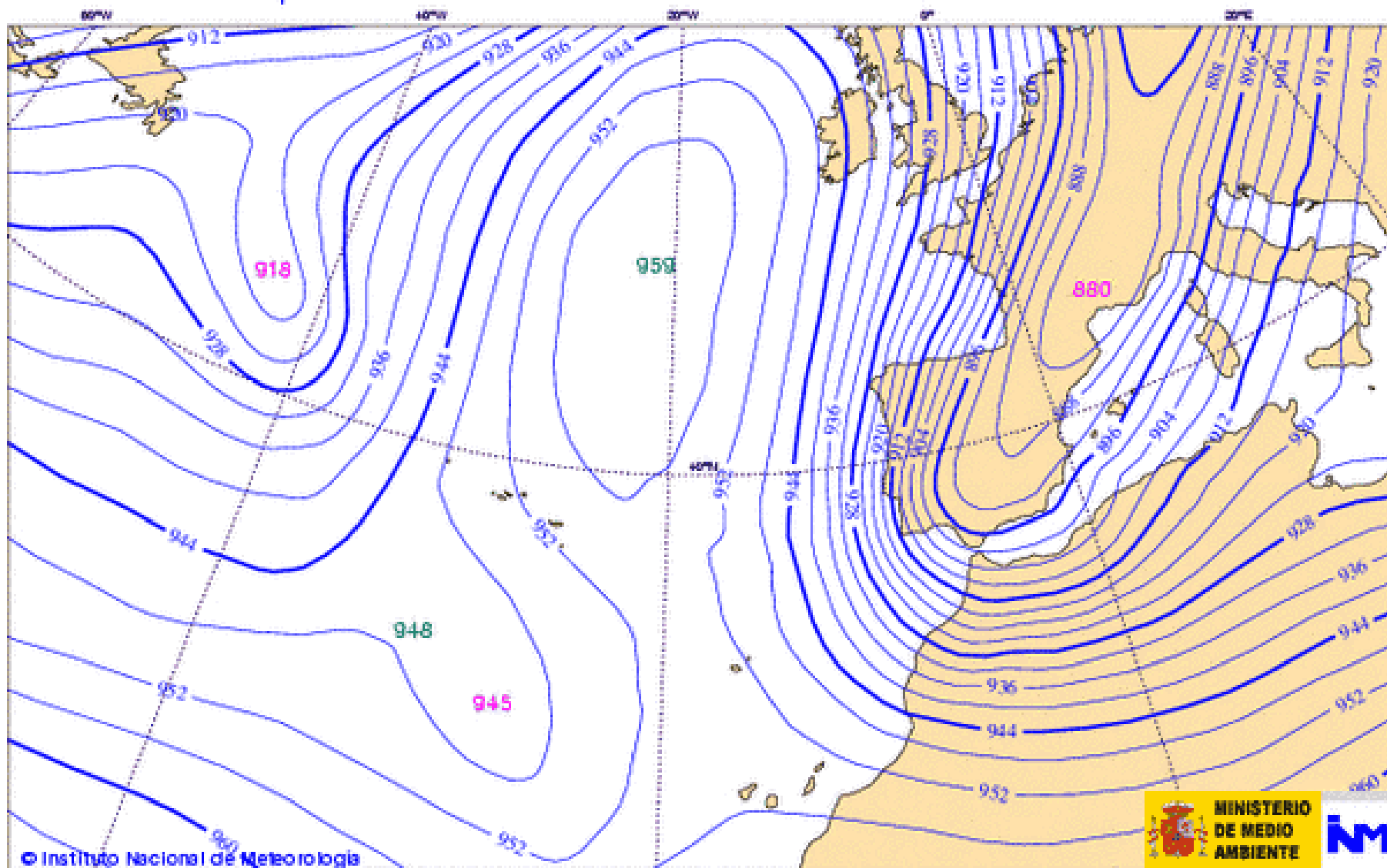
# ISOHIPSAS SUPERFICIE DE 500hPa

Viernes 9 Noviembre 2001 12UTC Predicción H+ 6 VAL: Viernes 9 Noviembre 2001 18UTC  
500 hPa Altura Geopotencial

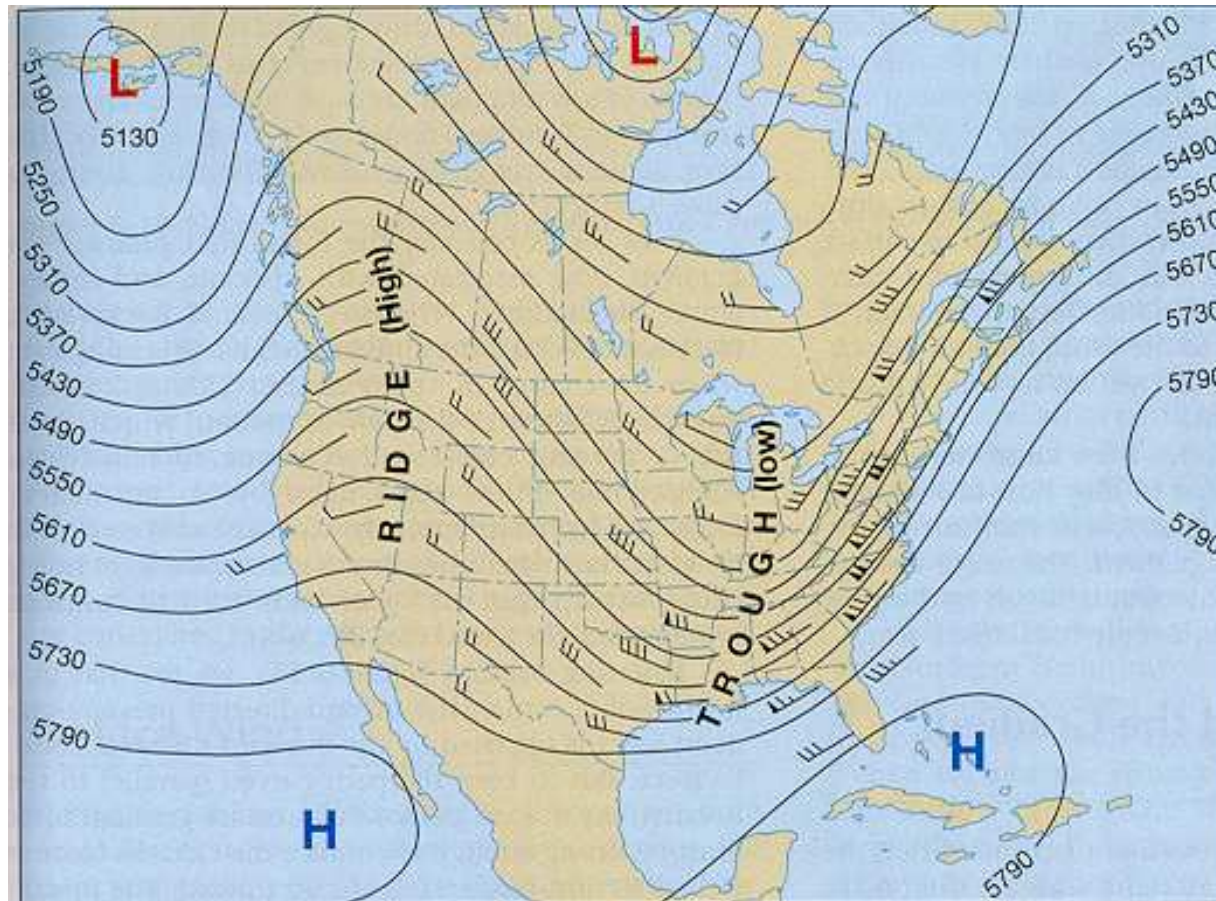


# ISOHIPSAS SUPERFICIE DE 300hPa

Viernes 9 Noviembre 2001 12UTC Predicción H+ 6 VAL: Viernes 9 Noviembre 2001 18UTC  
300 hPa Altura Geopotencial



# ISOHIPSAS SUPERFICIE DE 500hPa



ff	Miles per hour
☉	Calm
—	1–2
—	3–8
—	9–14
—	15–20
—	21–25
—	26–31
—	32–37
—	38–43
—	44–49
—	50–54
—	55–60
—	61–66
—	67–71
—	72–77
—	78–83
—	84–89
—	119–123

(a) Upper-level weather chart



(b) Representation of upper-level chart

Valores altos de las isohipsas indican zonas de alta presión en superficie y viceversa



# Dinámica Atmosférica

- Introducción. Fuerzas inerciales
  - Observadores inerciales y no inerciales
  - Observador no inercial en rotación
  - Fuerza de Coriolis
- Ecuación del movimiento
- Campo horizontal de presiones
  - Reducción de presión
  - Gradiente horizontal de presiones
  - Presión-Densidad
  - Isohipsas
- **Coordenadas intrínsecas. Ecuación del movimiento.**
- Flujo horizontal sin rozamiento
  - Viento geostrófico
  - Viento del gradiente
  - Efecto del rozamiento
- Viento térmico. Advección térmica.
- Regímenes de vientos locales y de pequeña escala
- Medidas de presión y viento

# COORDENADAS INTRINSECAS

$$\vec{V} = V \vec{t}$$

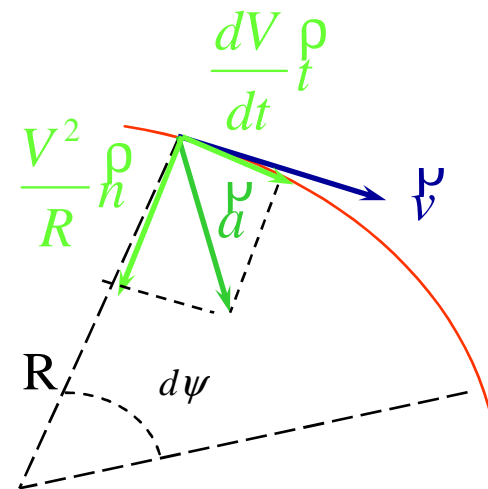
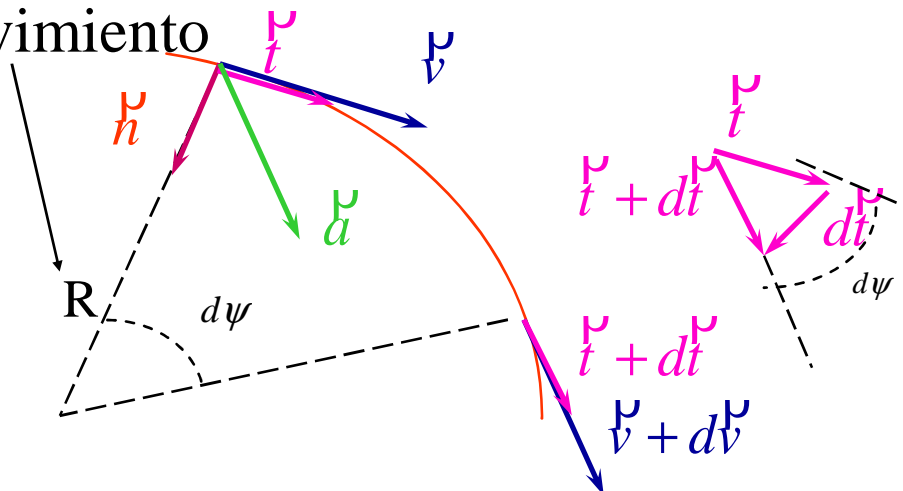
↖  
al movimiento

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{dV}{dt} \vec{t} + V \frac{d\vec{t}}{dt}$$

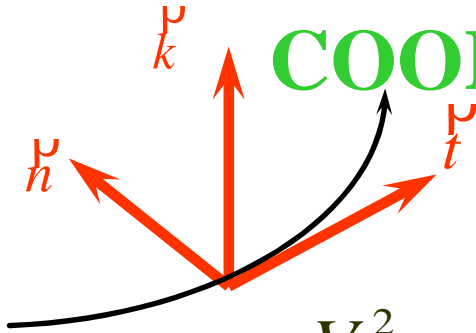
$$\frac{d\vec{t}}{dt} = \frac{ds}{dt} \frac{d\vec{t}}{ds} = V \frac{d\vec{t}}{ds} = \frac{V}{R} \vec{n}$$

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{dV}{dt} \vec{t} + \frac{V^2}{R} \vec{n} = \frac{dV}{dt} \vec{t} + \omega^2 R \vec{n}$$

radio de curvatura  
del movimiento



## ECUACION DE MOVIMIENTO. COORDENADAS INTRINSECAS.



$$\frac{dV}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} \quad (\hat{t})$$

$$\frac{V^2}{R_H} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} - 2\Omega V \sin \varphi = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} - fV \quad (\hat{n})$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (\hat{k})$$

Donde hemos simplificado la ecuación de la componente vertical despreciando términos de segundo orden

$$a_H^\rho = \frac{dV}{dt} t^\rho + \frac{V^2}{R_H} n^\rho = -\frac{1}{\rho} \nabla_H p - fV n^\rho$$

# Dinámica Atmosférica

- Introducción. Fuerzas inerciales
  - Observadores inerciales y no inerciales
  - Observador no inercial en rotación
  - Fuerza de Coriolis
- Ecuación del movimiento
- Campo horizontal de presiones
  - Reducción de presión
  - Gradiente horizontal de presiones
  - Presión-Densidad
  - Isohipsas
- Coordenadas intrínsecas. Ecuación del movimiento.
- Flujo horizontal sin rozamiento
  - Viento geostrófico
  - Viento del gradiente
  - Efecto del rozamiento
- Viento térmico. Advección térmica.
- Regímenes de vientos locales y de pequeña escala
- Medidas de presión y viento

# FLUJO GEOSTROFICO

Viento horizontal sin rozamiento con equilibrio entre fuerzas de Coriolis y presión

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial s} = 0 \quad (\hat{t})$$

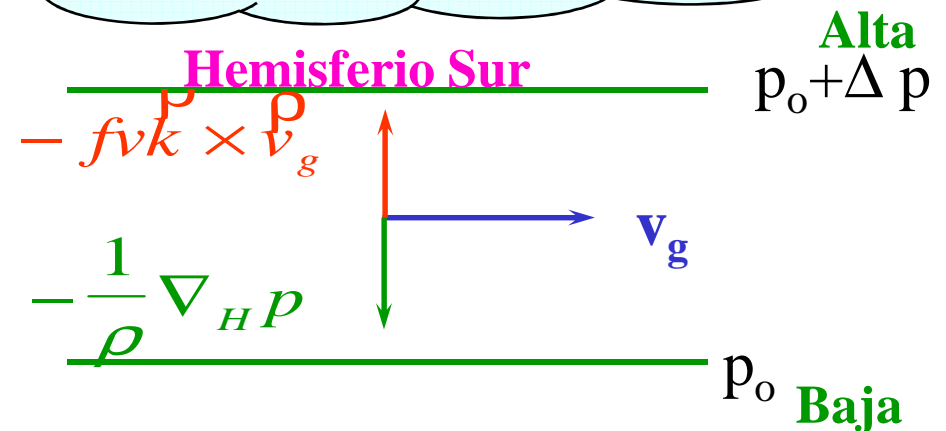
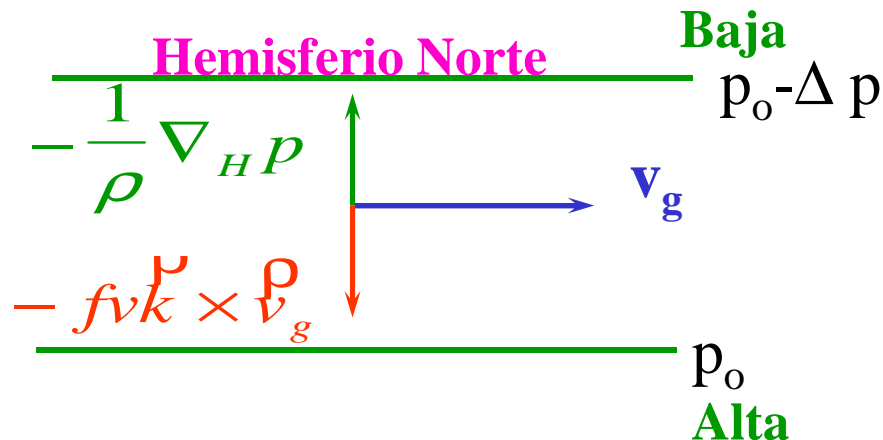
p no cambia a lo largo de la trayectoria

$$\frac{V^2}{R_H} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} - fV = 0 \quad (\hat{n})$$

$$v_g = |\mathbf{v}_g| = \frac{1}{\rho} \frac{1}{f} \frac{\partial p}{\partial n} \Rightarrow v_g = \frac{1}{\rho} \frac{1}{f} \frac{\Delta p}{\Delta n}$$

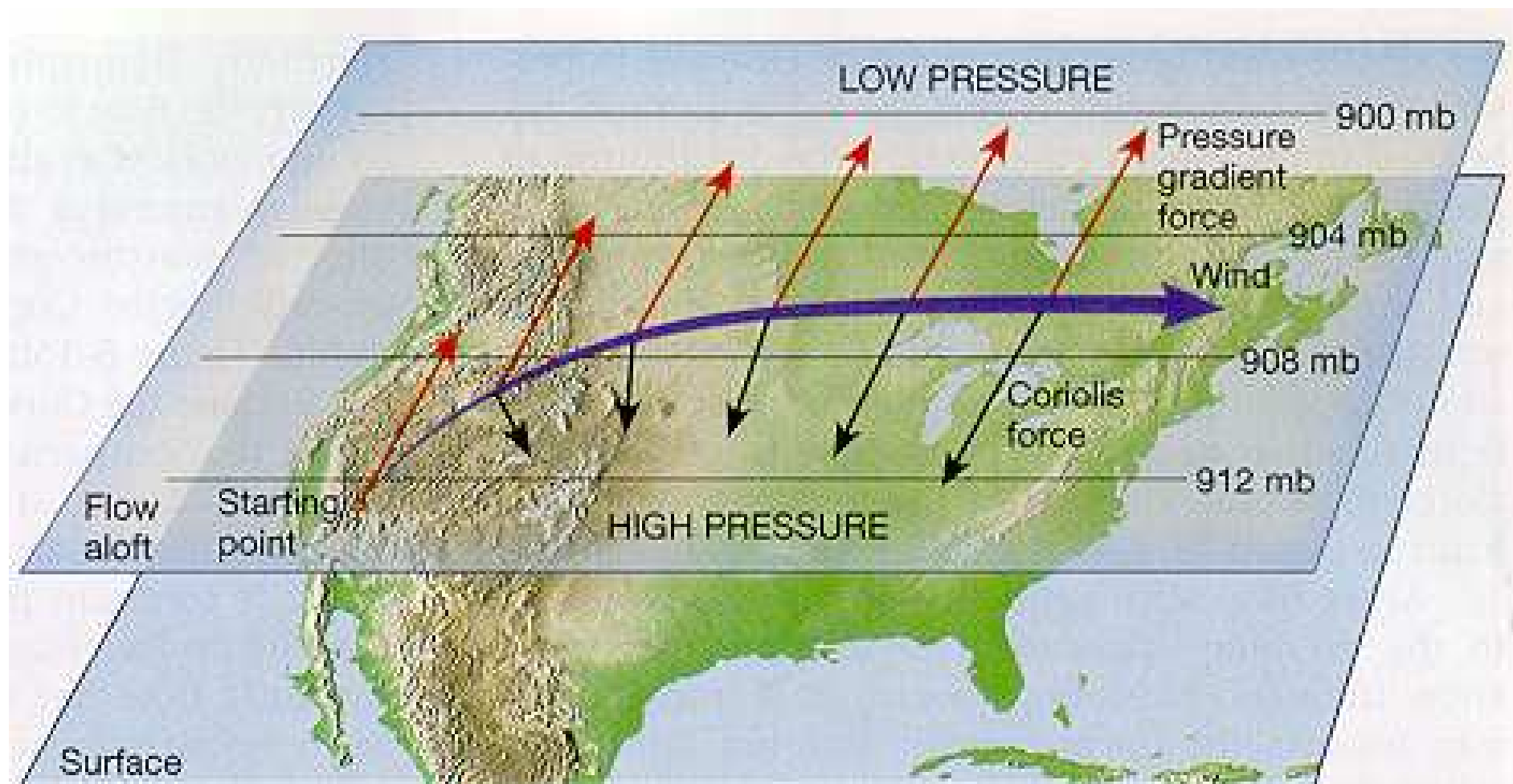
$$v_g = \frac{g}{f} \frac{\partial z}{\partial n} \Rightarrow v_g = \frac{g}{f} \frac{\Delta z}{\Delta n}$$

Proporciona  $v_g$  a partir de la variación de la altura de una superficie isobárica



# EFECTOS DE LA FUERZA DE CORIOLIS

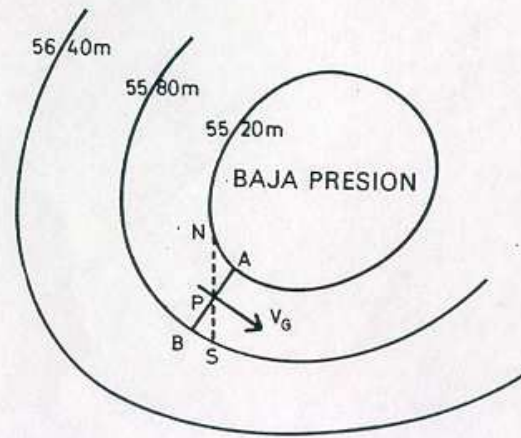
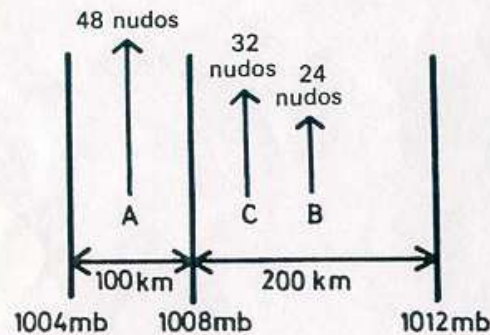
## VIENTO GEOSTRÓFICO



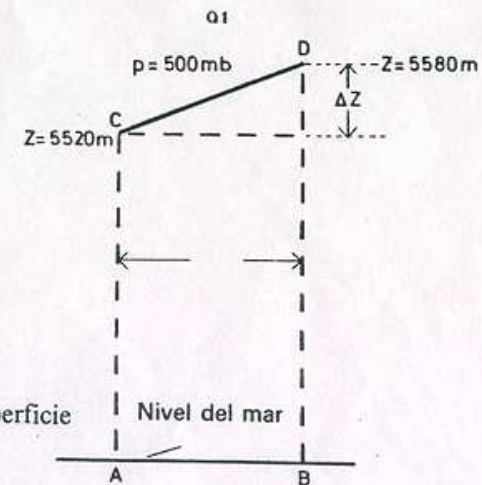


# FLUJO GEOSTROFICO

## CALCULO GRAFICO



Ejemplo de líneas de contorno o isohipsas de la superficie isobárica de 500 mb.



Sección transversal a lo largo de la línea de mayor pendiente por el punto P de la figura 6.5 (mirando a sotavento).

$$v_g = \frac{1}{\rho} \frac{1}{f} \frac{\Delta p}{\Delta n}$$

$$v_g = \frac{g}{f} \frac{\Delta z}{\Delta n}$$

# VIENTO DEL GRADIENTE

$$\frac{dV}{dt} = 0$$

p no cambia a lo largo de la trayectoria

$$\frac{V_{gr}^2}{R_H} = -fV_{gr} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial N} = -fV_{gr} - fV_g$$

donde se ha usado  $\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} = -fV_g$

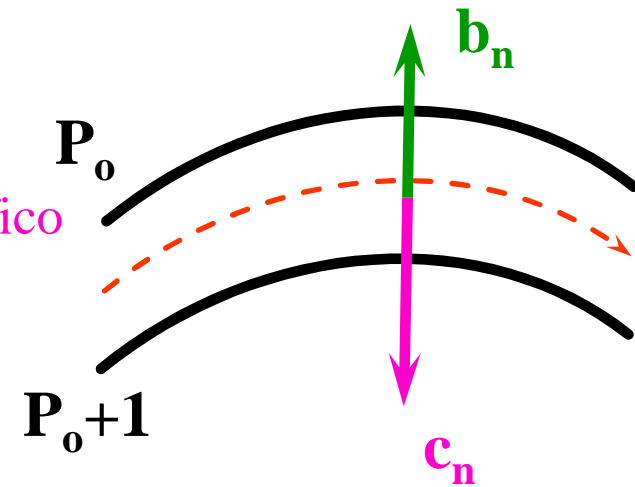
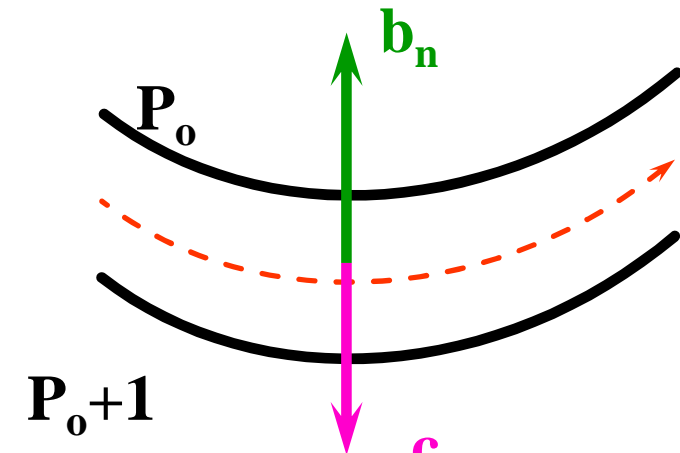
$$V_{gr} = V_g - \frac{V_{gr}^2}{R_H f}$$

$$R_H > 0 \Rightarrow V_{gr} < V_g \quad \text{Ciclónico. Subgeostrófico}$$

$$R_H < 0 \Rightarrow V_{gr} > V_g \quad \text{Anticiclónico. Supergeostrófico}$$

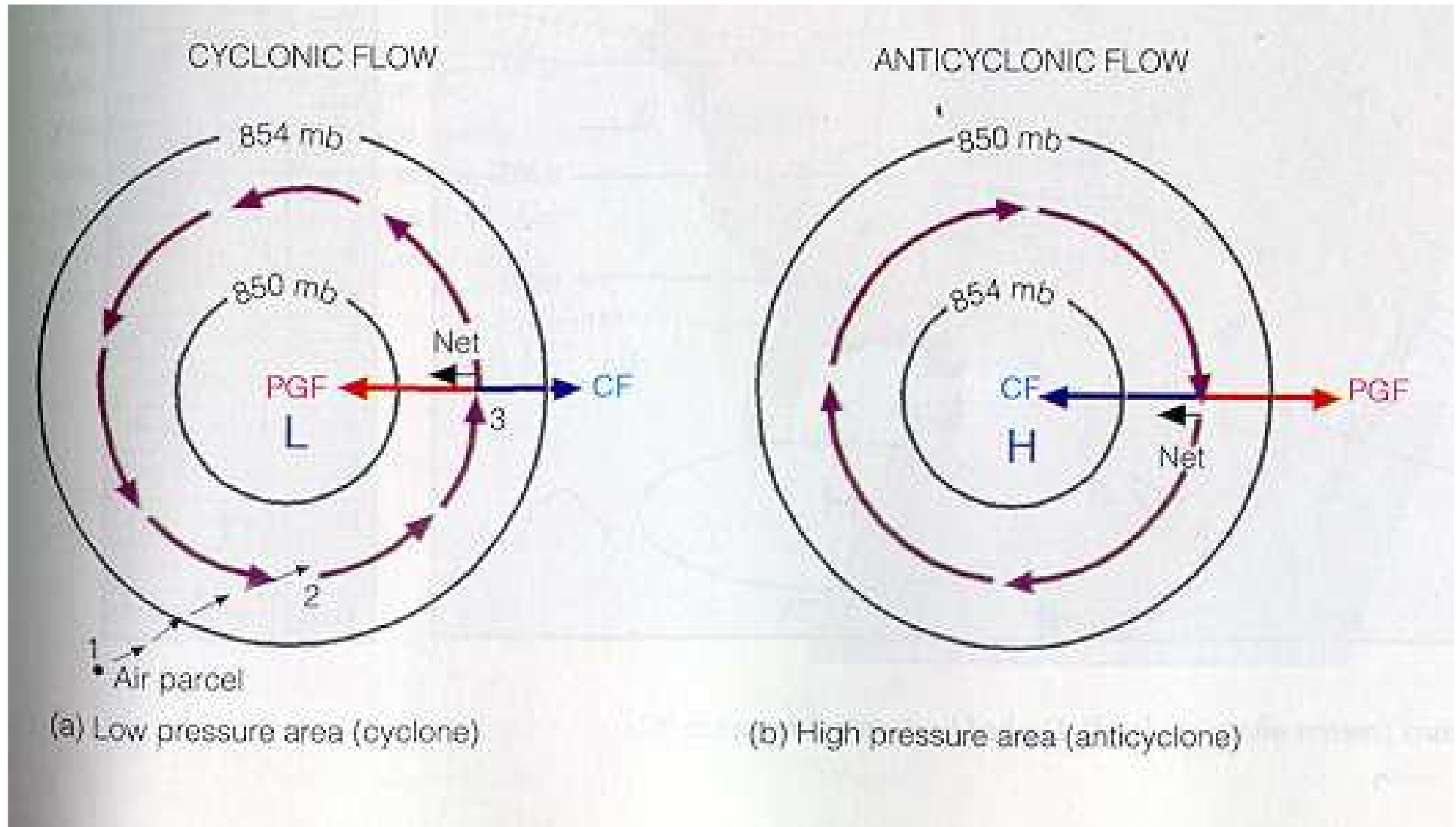
$$C \Rightarrow V_{gr} = -\frac{f|R_H|}{2} + \sqrt{\frac{f^2 R_H^2}{4} + \frac{|R_H|}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}}$$

$$A \Rightarrow V_{gr} = \frac{f|R_H|}{2} - \sqrt{\frac{f^2 R_H^2}{4} - \frac{|R_H|}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}}$$

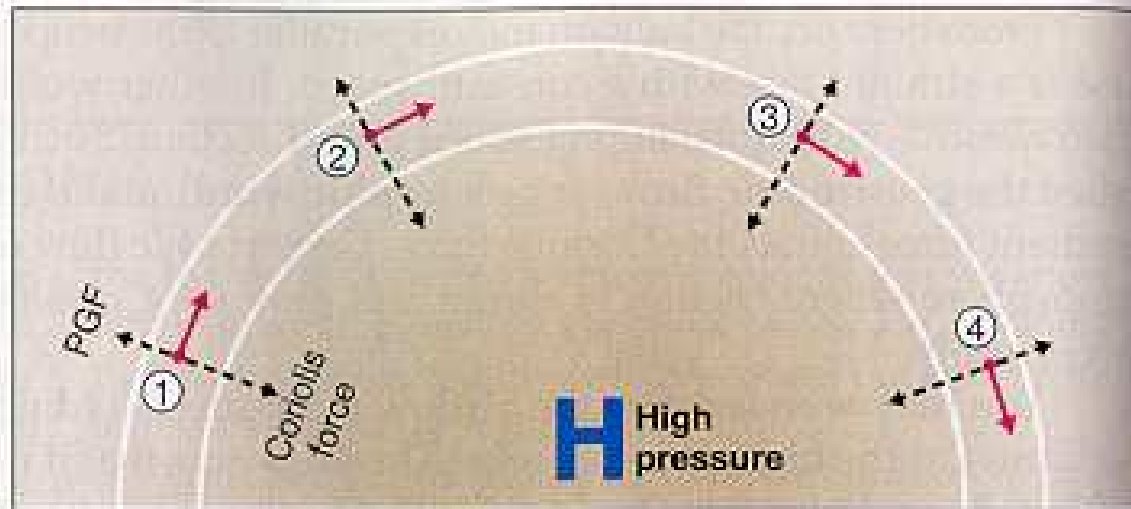


Anticiclónico

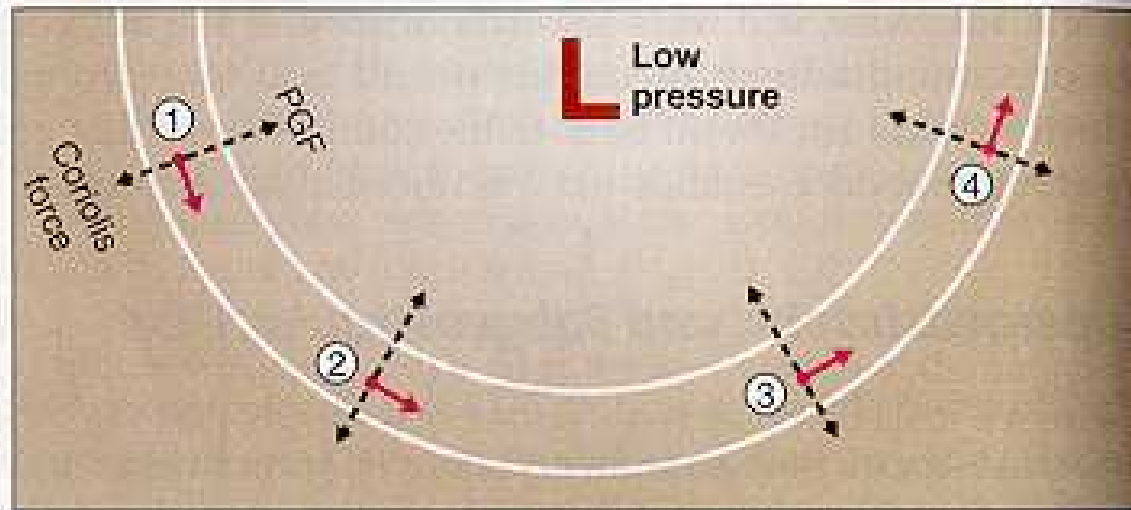
# VIENTO DEL GRADIENTE



# VIENTO DEL GRADIENTE

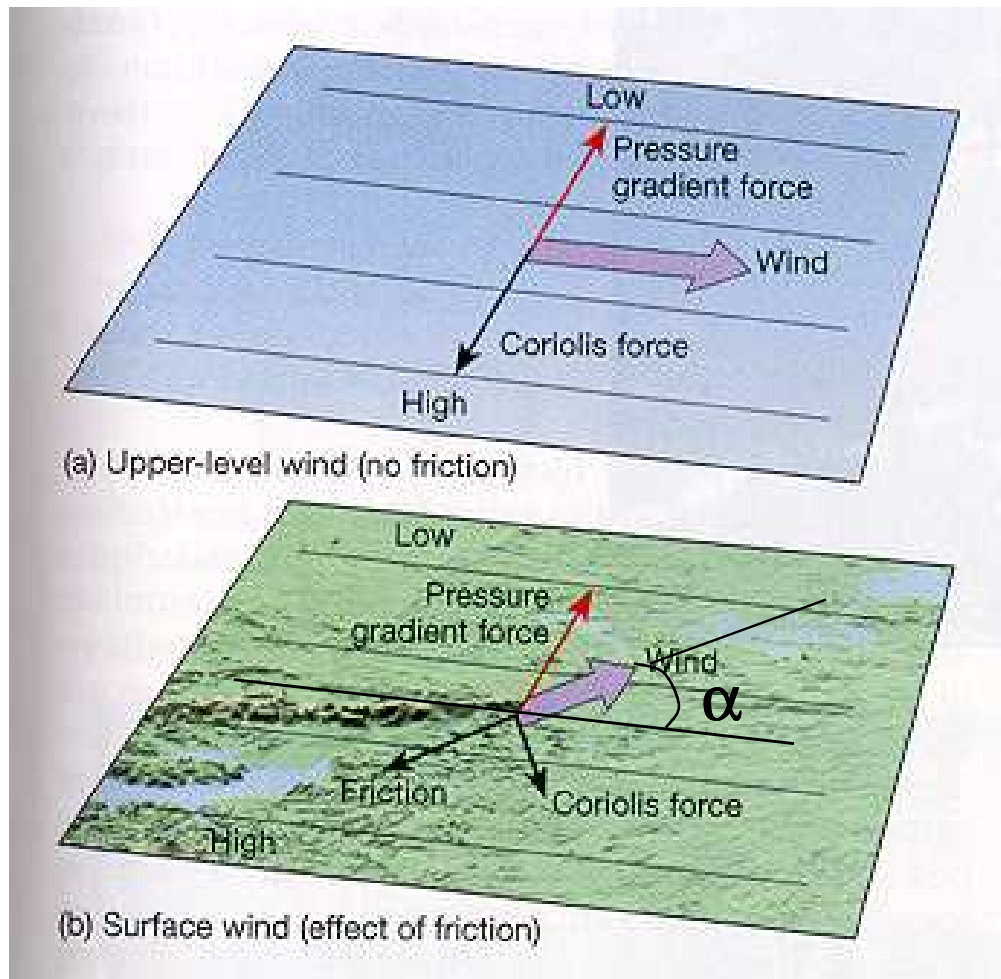


(a)



(b)

# EFECTO DEL ROZAMIENTO



Reducción de la velocidad

Viento no paralelo a isobaras

Flujo de altas a bajas presiones

$$\begin{aligned} F_{\text{roz}} \uparrow &\Rightarrow \alpha \uparrow \\ v \uparrow &\Rightarrow \alpha \downarrow \end{aligned}$$

La rugosidad de la superficie controla la reducción de velocidad y el ángulo de desviación

Continentes

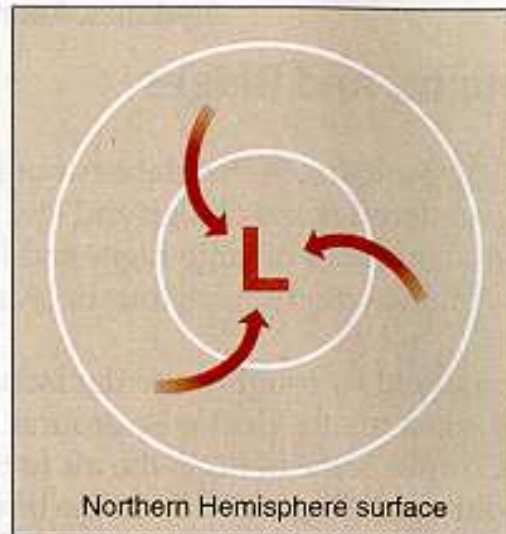
$$v_{\text{sup}} = 0.40 v_{\text{geo}} \quad \alpha = 40^\circ$$

Océanos

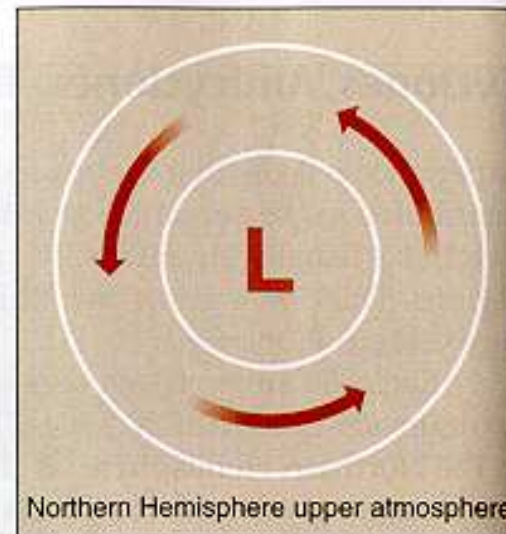
$$v_{\text{sup}} = 0.60 v_{\text{geo}} \quad \alpha = 20-30^\circ$$



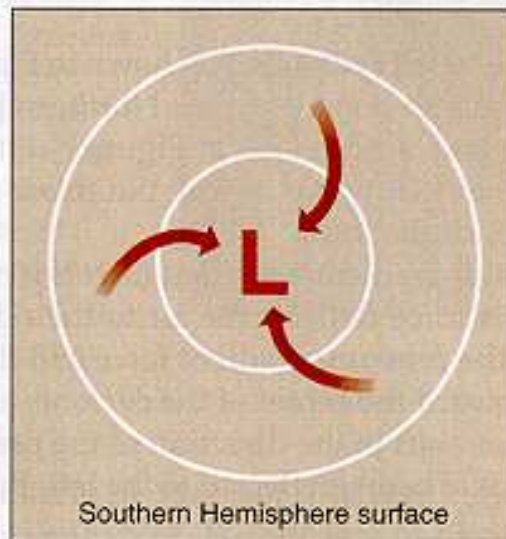
# CIRCULACIÓN CICLÓNICA



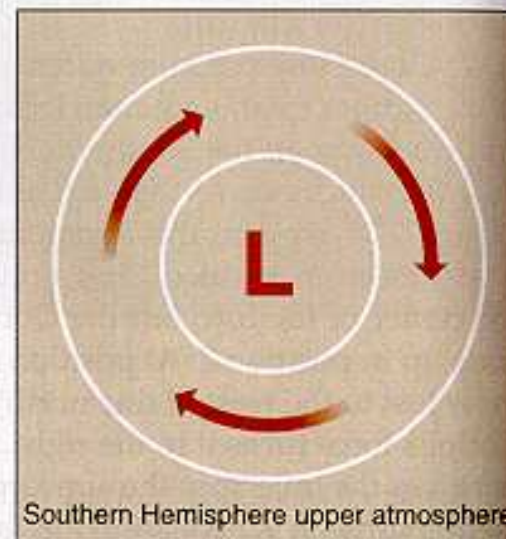
(a)



(b)

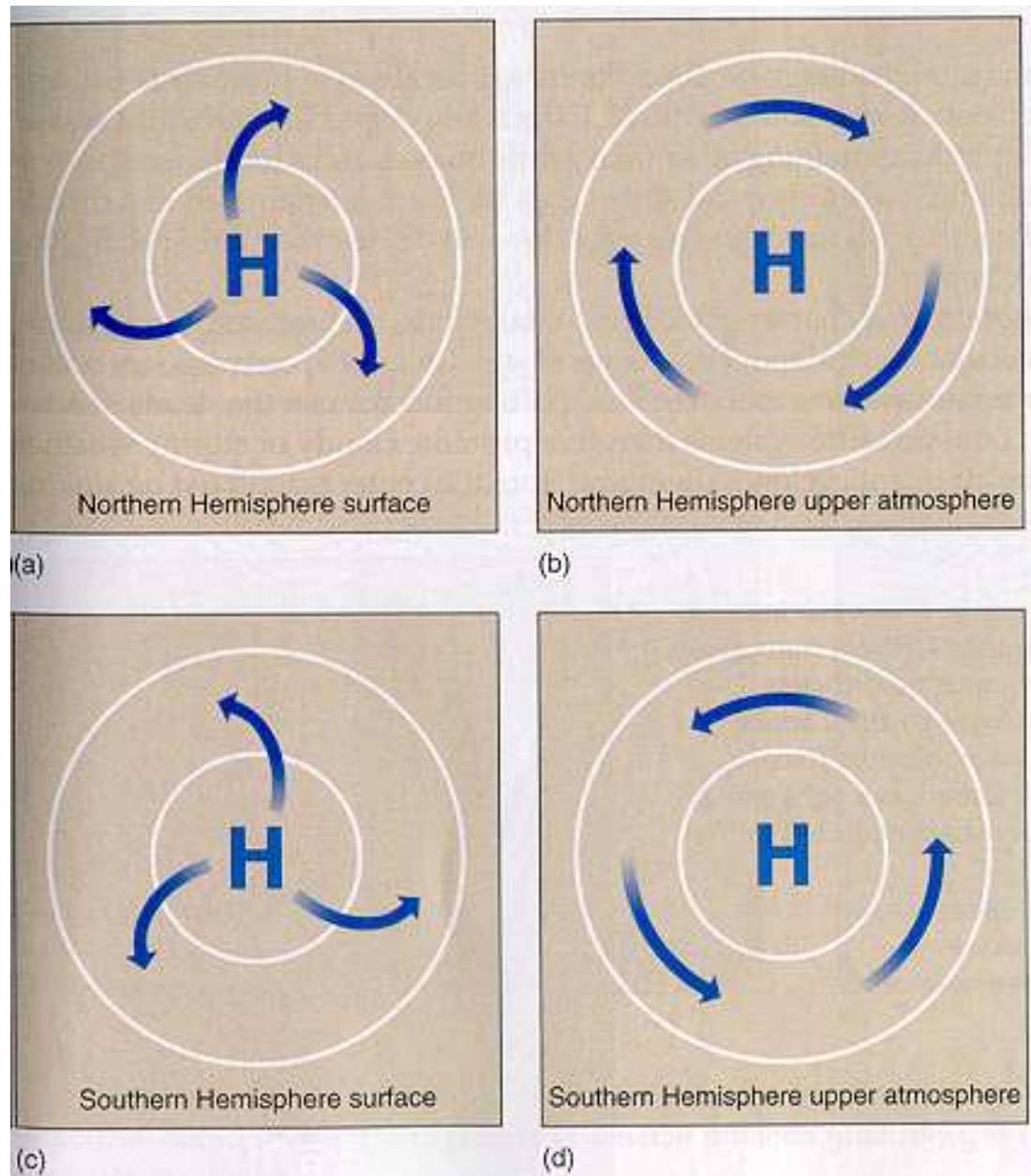


(c)



(d)

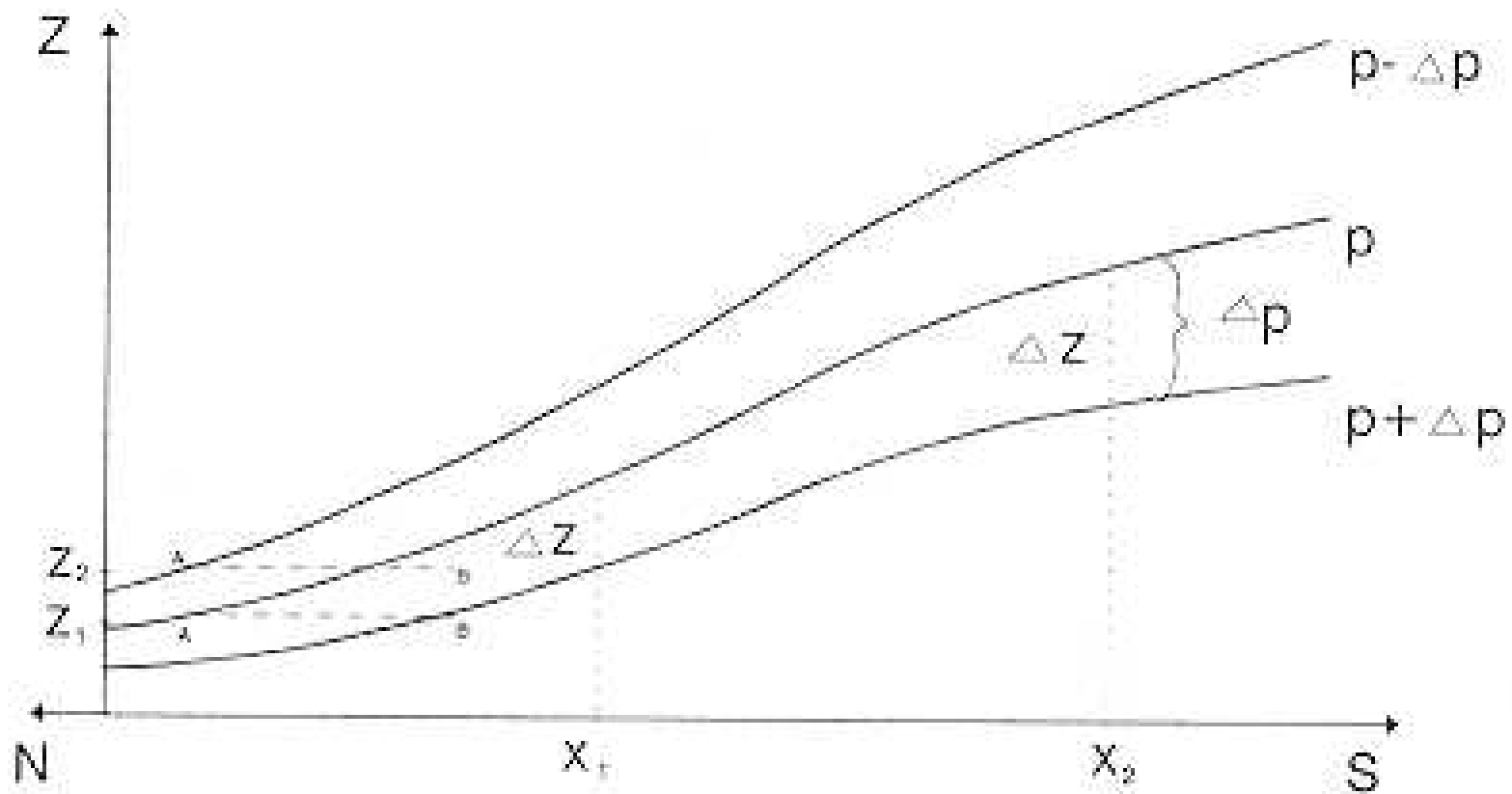
# CIRCULACIÓN ANTICICLÓNICA



# Dinámica Atmosférica

- Introducción. Fuerzas inerciales
  - Observadores inerciales y no inerciales
  - Observador no inercial en rotación
  - Fuerza de Coriolis
- Ecuación del movimiento
- Campo horizontal de presiones
  - Reducción de presión
  - Gradiente horizontal de presiones
  - Presión-Densidad
  - Isohipsas
- Coordenadas intrínsecas. Ecuación del movimiento.
- Flujo horizontal sin rozamiento
  - Viento geostrófico
  - Viento del gradiente
  - Efecto del rozamiento
- Viento térmico. Advección térmica.
- Regímenes de vientos locales y de pequeña escala
- Medidas de presión y viento

# VIENTO TÉRMICO

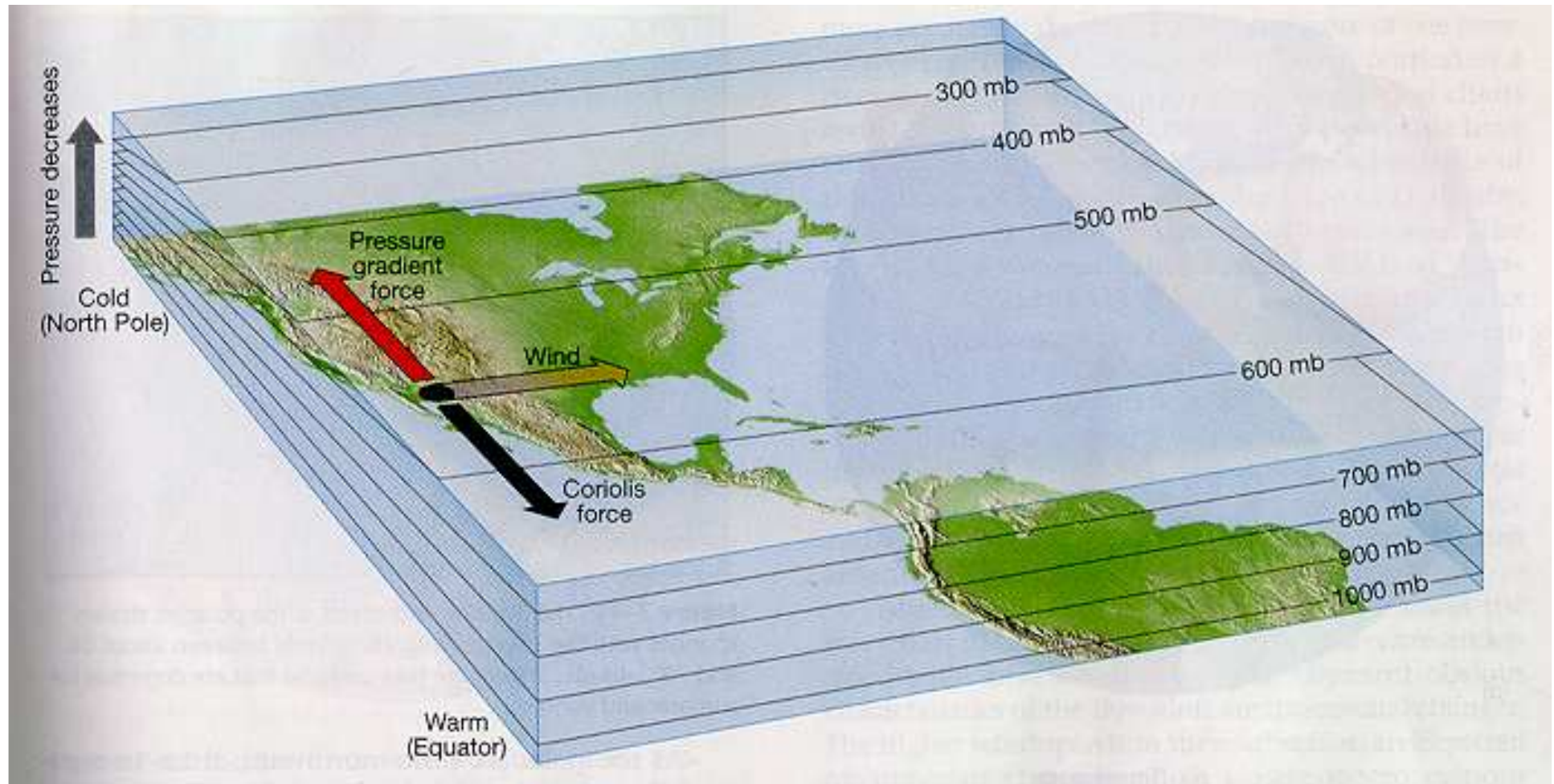


$$g(z_2 - z_1) = -R_d \int_1^2 T_v d(\ln p) = R_d \bar{T}_v \ln \frac{p_1}{p_2}$$

$$v_g = \frac{1}{\rho} \frac{1}{f} \frac{\Delta p}{\Delta n}$$



# VIENTO TÉRMICO



Para un nivel  $z$  dado, aparece una componente horizontal de  $F_{gp}$  S→N



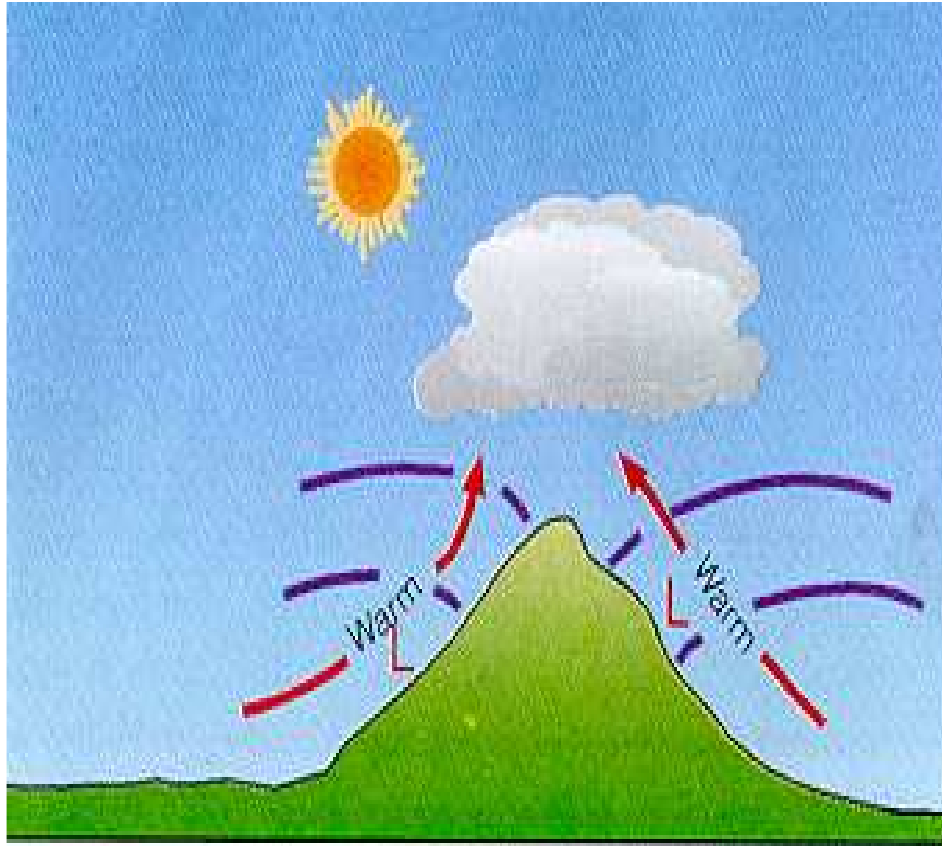
**Viento zonal**



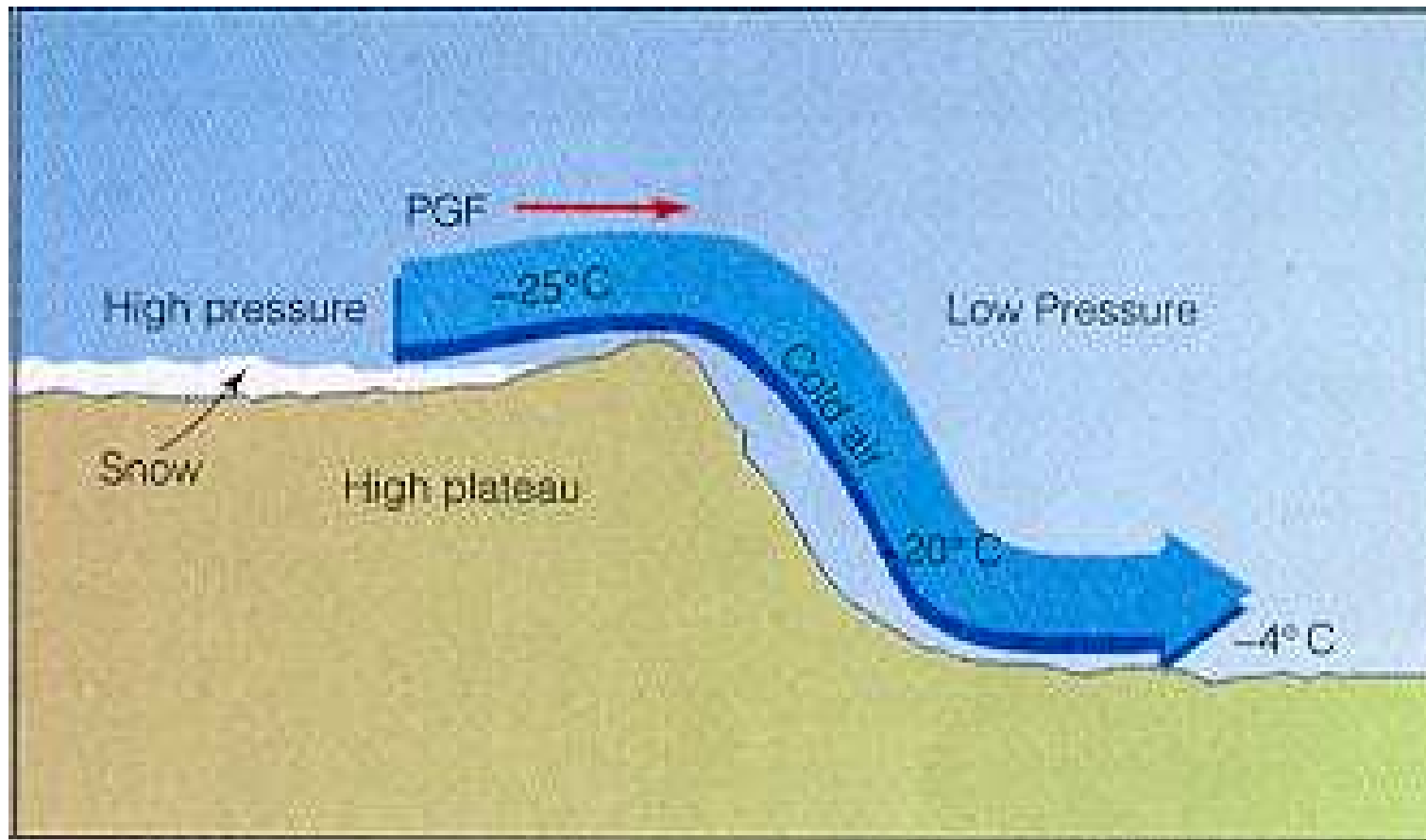
# Dinámica Atmosférica

- Introducción. Fuerzas inerciales
  - Observadores inerciales y no inerciales
  - Observador no inercial en rotación
  - Fuerza de Coriolis
- Ecuación del movimiento
- Campo horizontal de presiones
  - Reducción de presión
  - Gradiente horizontal de presiones
  - Presión-Densidad
  - Isohipsas
- Coordenadas intrínsecas. Ecuación del movimiento.
- Flujo horizontal sin rozamiento
  - Viento geostrófico
  - Viento del gradiente
  - Efecto del rozamiento
- Viento térmico. Advección térmica.
- Regímenes de vientos locales y de pequeña escala
- Medidas de presión y viento

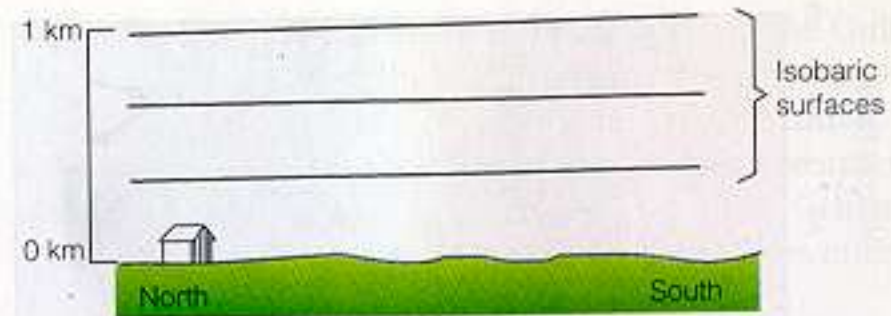
# VIENTOS VALLE-LADERA



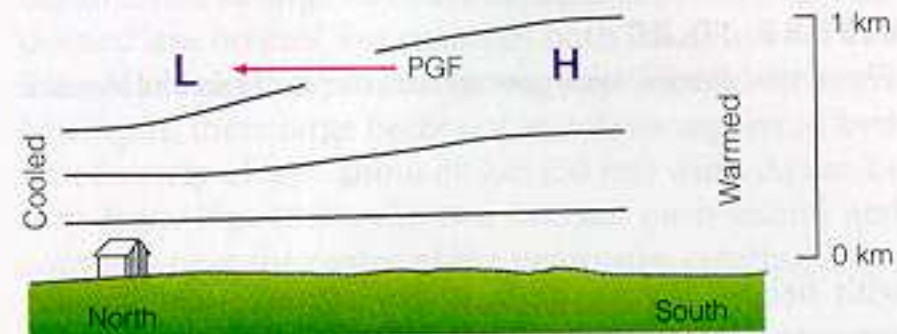
# VIENTO CATABÁTICO



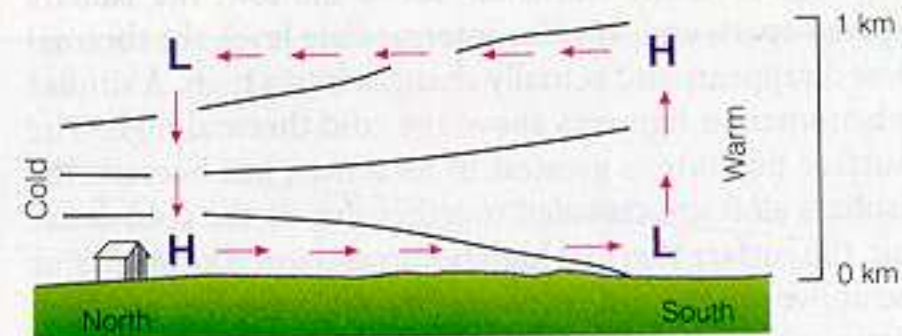
# FLUJO TÉRMICO



(a)

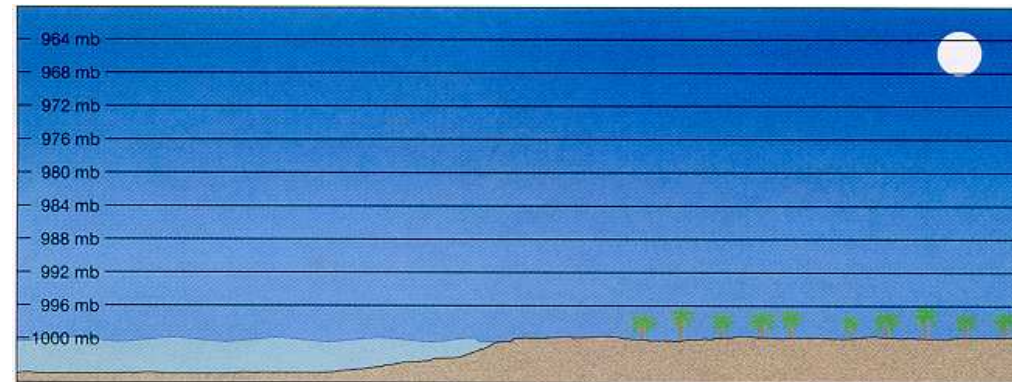


(b)

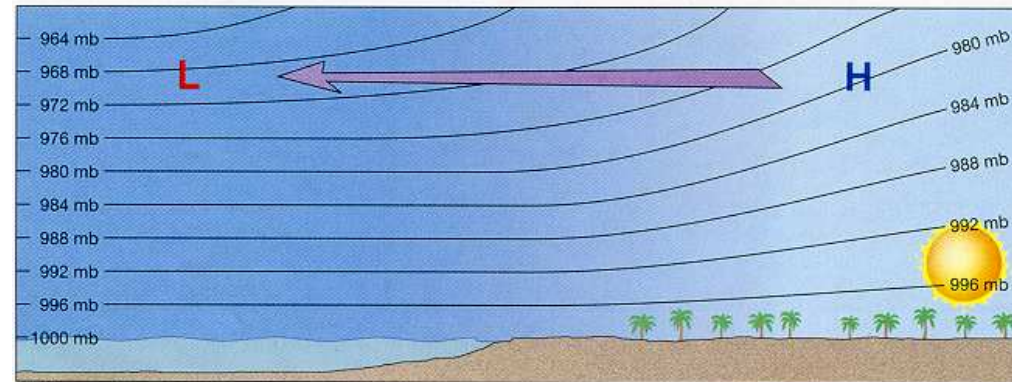


(c)

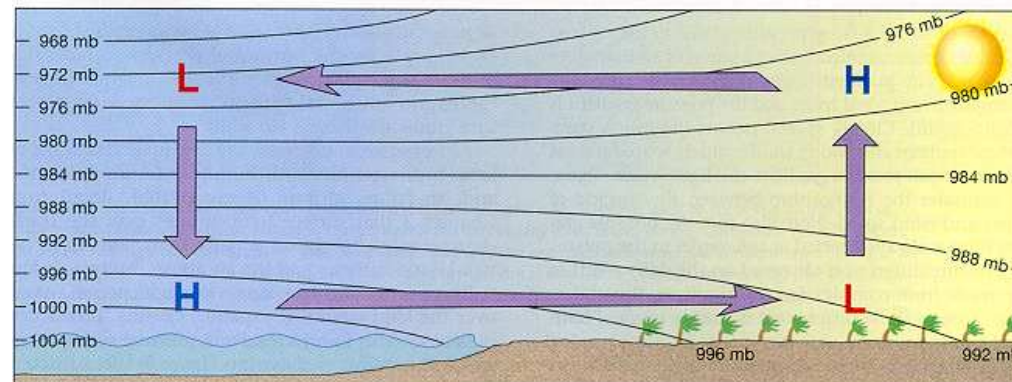
# BRISA MARINA-BRISA TERRESTRE



(a) Before sunrise



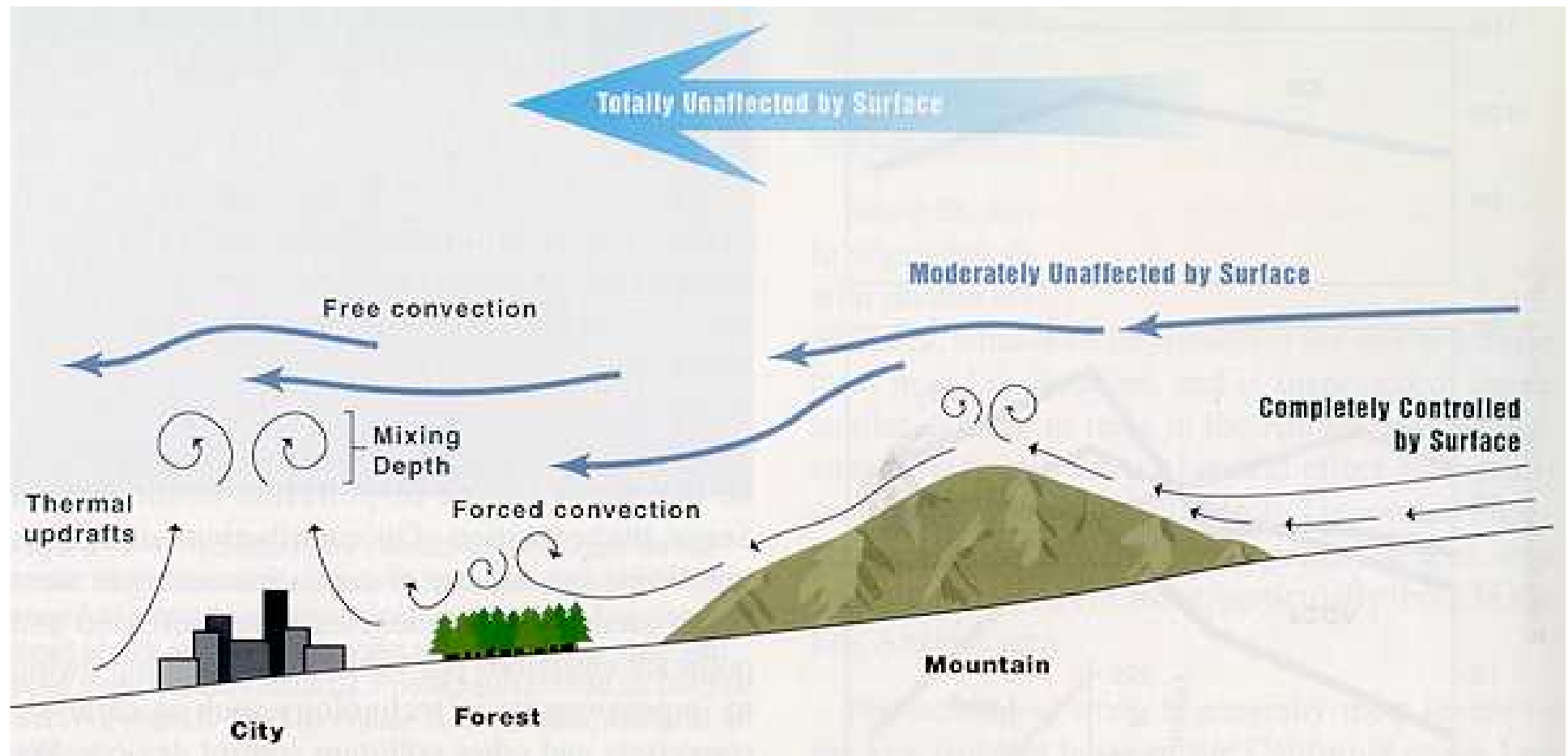
(b) After sunrise



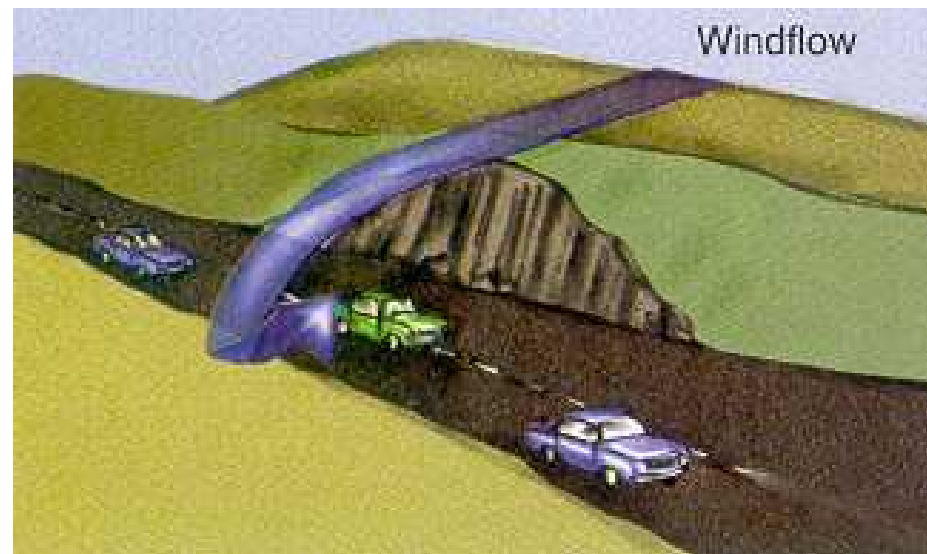
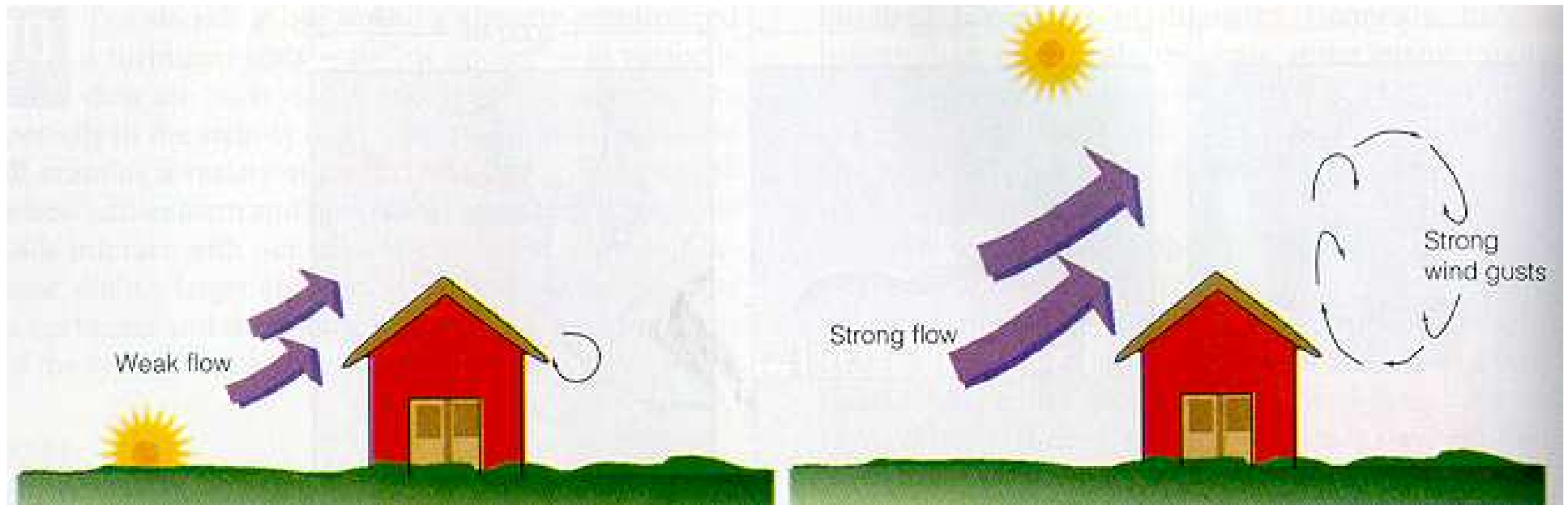
(c) Sea breeze established



# EFECTOS DEL FLUJO



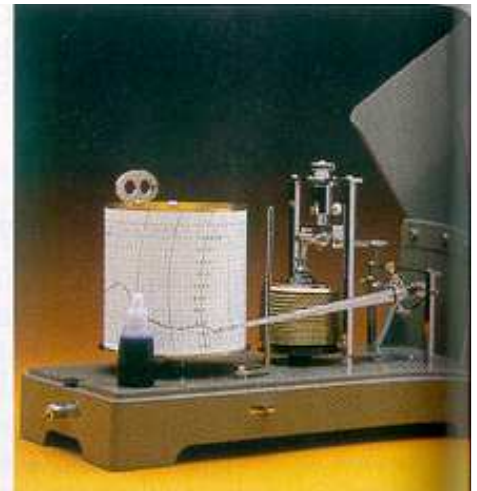
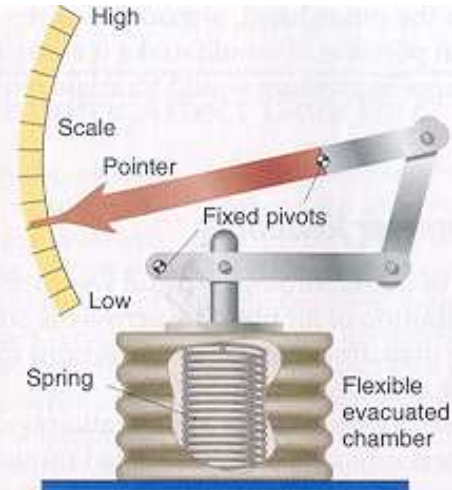
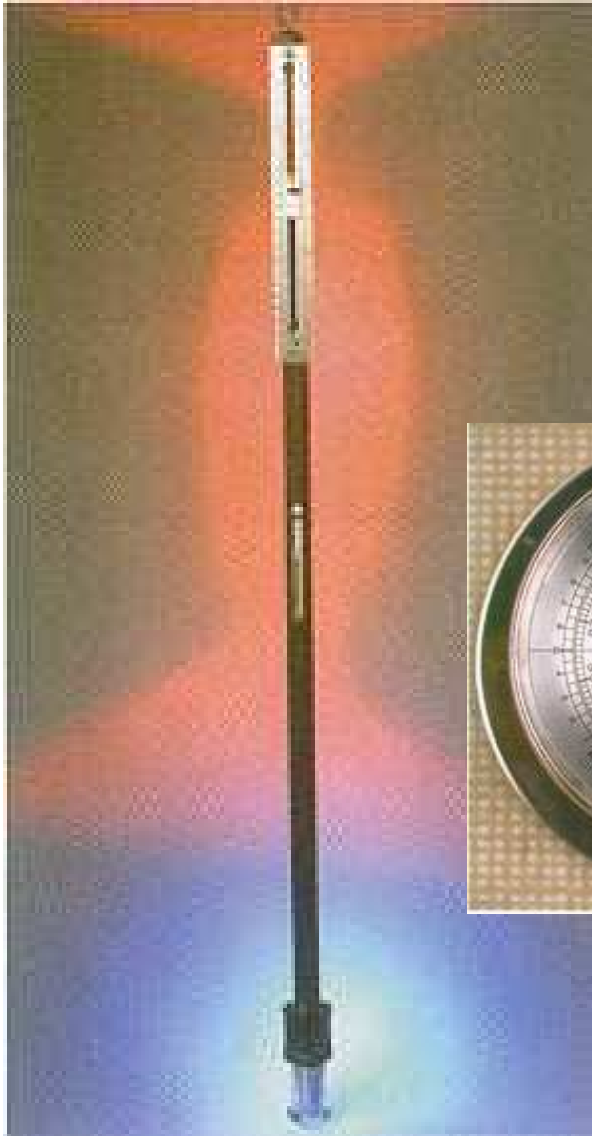
# FLUJO-OBSTÁCULOS



# Dinámica Atmosférica

- Introducción. Fuerzas inerciales
  - Observadores inerciales y no inerciales
  - Observador no inercial en rotación
  - Fuerza de Coriolis
- Ecuación del movimiento
- Campo horizontal de presiones
  - Reducción de presión
  - Gradiente horizontal de presiones
  - Presión-Densidad
  - Isohipsas
- Coordenadas intrínsecas. Ecuación del movimiento.
- Flujo horizontal sin rozamiento
  - Viento geostrófico
  - Viento del gradiente
  - Efecto del rozamiento
- Viento térmico. Advección térmica.
- Regímenes de vientos locales y de pequeña escala
- Medidas de presión y viento

# BARÓMETROS



# ANEMÓMETRO-VELETA

