

DINAMICA DE LA TERMOSEFERA ECUATORIAL:  
II. CALCULOS Y COMPARACION CON RESULTADOS EXPERIMENTALES

S. Duhau<sup>\*</sup> y A.A. Louro

Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Universidad de Buenos Aires

RESUMEN

El modelo teórico previamente introducido se utiliza para la descripción de la variación con la latitud y con la altura (entre los 150 y 600 km) de los siguientes parámetros de la termosfera ecuatorial: la corriente en la base de la capa F, el campo eléctrico (velocidad iónica) y la velocidad del viento neutro. Se comparan los resultados con valores experimentales seleccionados para las mismas condiciones en que se realizaron los cálculos.

ABSTRACT

The theoretical model previously introduced is applied to the description of the variation with latitude and height (between 150 and 600 km) of the following parameters of the equatorial thermosphere: the current at the base of the F-layer, the electric field (ion velocity) and the neutral wind velocity. The results are compared with experimental values selected for the same conditions for which the calculations were performed.

\* Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET

## 1. INTRODUCCION

El modelo introducido en la parte I es aplicado en este trabajo al cálculo del viento neutro y el campo eléctrico en la capa F ecuatorial, así como la corriente en la base de la región F. En la sección 2 se resumen las ecuaciones del modelo, mientras que en la sección 3 se presentan los parámetros utilizados en los cálculos, y finalmente en la sección 4 se presentan los resultados de los cálculos.

## 2. ECUACIONES UTILIZADAS.

De acuerdo al modelo presentado en la parte I, la velocidad iónica zonal  $V$  en función de la latitud  $\theta$  a los 150 km satisface la ecuación:

$$\partial / \partial \theta (V^* \operatorname{cosec} I^*) = a \cos I^* - b V \cos I^* , \quad (1)$$

donde  $a = (2/\pi) n_e^* R_i^* U^* / N_E H_E v_i$  y  $b = a/U^*$ , y se han designado con un asterisco los valores a los 150 km de las magnitudes correspondientes;  $I$  es la inclinación magnética a la latitud  $\theta$ ,  $n_e$  es la densidad electrónica,  $v_i$  y  $\Omega_i$  son la frecuencia de colisión entre iones y neutros y la girofrecuencia iónica respectivamente,  $N_E$  y  $H_E$  son la densidad electrónica máxima y la altura de escala de la capa E respectivamente,  $R$  es la distancia geocéntrica de la base de la capa F, y  $U$  es la velocidad neutra zonal. La condición inicial es que  $V^*(\theta=0) = 0$ , lo que equivale a que la corriente meridional en la capa E se anule en el ecuador.

La solución  $V^*(\theta)$  de (1) es constante a lo largo de la línea de campo geomagnético que cruza la base de la región F a la latitud  $\theta$ , por lo que conocer  $V^*(\theta)$  implica conocer  $V$  en función de la altura,  $h$ .

Por otra parte, la velocidad neutra zonal  $U$  satisface la ecuación de movimiento:

$$\delta \partial U / \partial t (1 - U/v_t) = (-1/v_t) \partial p / \partial t - n_e m_i v_i (U - V) , \quad (2)$$

donde  $\delta$  y  $p$  son la densidad y presión de la atmósfera neutra respectivamente,  $v_t$  es la velocidad de rotación terrestre a la altura pertinente y  $m_i$  es la masa de los iones; los valores de  $V$  se obtienen resolviendo (1).

Finalmente, la corriente normal a las líneas de campo  $j_n$  está dada por:

$$j_n = n_e e (v_i / \Omega_i) (U - V) , \quad (3)$$

y en la base de la región F, la corriente vertical

$$j_z^* = j_n \cos I^* . \quad (4)$$

### 3. PARAMETROS

La densidad electrónica por debajo del pico de la capa F ha sido representada por un modelo semiempírico previamente introducido por los autores (Duhau y Louro, 1980), de acuerdo al cual este parámetro tiene uno de los siguientes perfiles con la altura según la hora:

$$7-16 \text{ hs.: } n_e = N_m \exp (AZ^2 + BZ^3),$$

$$Z = h - h_m, \quad 150 \leq h \leq h_m, \quad (5)$$

$$17-6 \text{ hs.: } n_e = N_m \exp (Z^1/D_1)^{n_1} / \{1 + (Z^1/D_2)^{n_2}\},$$

$$Z^1 = h_m - h, \quad 150 \leq h \leq h_m, \quad (6)$$

donde  $N_m$  y  $h_m$  son la densidad electrónica máxima y altura del pico de la capa F respectivamente, y  $A$ ,  $B$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $D_1$ , y  $D_2$  son parámetros calculados ajustando los perfiles (5) y (6) a perfiles medidos sobre Jícamarca (septiembre 1957) (Thomas, 1962). Por encima del pico de la capa F, los perfiles se completaron con un perfil tipo Chapman:

$$n_e = N_m \exp \{1 - Z'' - \exp(-Z'')\},$$

$$Z'' = (h - h_m)/H, \quad h \leq h_m, \quad (7)$$

donde  $H$  es la altura de escala.

A fines de comparación, se ha utilizado el mismo modelo de composición y temperatura neutras que Rishbeth (1971) y Heelis y otros (1974): la atmósfera neutra a alturas termosféricas se ha supuesto compuesta únicamente por  $O$ , y su densidad descrita por el modelo de Jacchia (1965), mientras que la temperatura exosférica corresponde al promedio de las curvas de invierno y verano de septiembre 1967 medidas por Waldteufel y McLure (1969).

Para calcular el viento neutro a los 150 km, el término de gradiente de presión se basó en el modelo de Jacchia (1971).

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. La velocidad iónica

Resolviendo la ecuación (1) a cada hora en función de la latitud  $\theta$  a los 150 km y luego trasladando los valores a lo largo de las líneas de campo magnético, se han obtenido los perfiles de la velocidad iónica con la altura en el ecuador, tal como el ilustrado en la Figura 1, correspondiente al mediodía. Este exhibe la forma típica de los perfiles calculados con la velocidad iónica creciendo con la altura hacia un valor estable.

A fin de comparar con observaciones de esta magnitud, en la Figura 2 se ha

graficados los valores obtenidos con el modelo anterior. Se desprende que el nuevo modelo representa una notable mejoría con respecto al anterior, particularmente en las horas diurnas difiriendo sus predicciones de los valores medidos fundamentalmente tan sólo en la fase.

#### 4.2. El viento neutro

Reemplazando los valores calculados de  $V$  en el término de arrastre de (2), se resolvió esta última, obteniéndose  $U$  en función de la altura y de la hora local. La Figura 3 muestra la evolución de  $U$  con la hora del día según el presente trabajo, superpuesta a las predicciones de Rishbeth (1971) y Duhau y Louro (1980).

Las Figuras 4 y 5 permiten comparar las predicciones del presente modelo con los valores medidos del coeficiente de superrotación (King-Hele y Walker, 1977). La Figura 4 muestra los valores medidos y calculados de este coeficiente promediado sobre las 24 horas del día, mientras que en la Figura 5 se muestran por separado los valores correspondientes a la mañana (4 - 12 HL) y al anochecer (18 - 24 HL). En el primer caso, la curva teórica reproduce bien los valores medidos dentro de los errores experimentales, si bien el pico predicho alrededor de los 350 km es bastante menor al observado. La Figura 5 por su parte muestra un acuerdo cualitativo entre lo observado y lo predicho por el presente modelo, al predecirse en general mayor superrotación durante el anochecer que durante la mañana.

#### 4.3. La corriente en la base de la región F.

Una vez conocidos  $U$  y  $V$ , se computó  $j_n^*$  con la expresión (3), en función de la latitud y la hora local. La Figura 6 muestra la variación de  $j_n^*$  con la latitud a las 12 HL. Se observa que la corriente normal alcanza valores del orden de  $10^{-7} \text{ Am}^{-2}$ , fluyendo hacia abajo alrededor del ecuador, y retornando hacia arriba a latitudes más lejanas, cambiando de signo alrededor de los  $9^\circ$ . Cabe mencionar que los valores calculados de la corriente a las mayores latitudes pueden ser exageradamente altos, pues al corresponder la geometría del problema, los parámetros y la omisión de la fuerza de Coriolis en (2) a condiciones ecuatoriales, disminuye la precisión de los resultados al alejarse del ecuador.

En la Figura 7 se muestra la evolución de  $j_n^*$  con la hora local, calculada a dos latitudes diferentes: sobre el ecuador, y a  $10^\circ$ . La inversión de los signos es reflejo del comportamiento ilustrado en la Figura 6. Nótese que la corriente alcanza sus mayores valores absolutos durante el período diurno; no obstante, cabe destacar la relativa importancia de la corriente normal nocturna, dada la gran disminución de la concentración electrónica. Esto se halla ilustrado en la Figura 8, donde se ha graficado una corriente normal adimensional, normalizada con respecto a una corriente normal correspondiente a un valor constante de  $U$ , tomando

para éste un valor típico de  $50 \text{ ms}^{-1}$ . La corriente normal adimensional así definida no depende ya de la densidad electrónica, sino que es estrictamente proporcional a la velocidad relativa entre iones y neutros, y se observa que es de igual magnitud durante el día que durante la noche.

Agradecimientos: Este trabajo fue subvencionado por el CONICET como parte del Programa Nacional de Radiopropagación.

#### BIBLIOGRAFIA

- Duhau, S. y Louro, A.A., 1980: La superrotación de la atmósfera en las proximidades del ecuador magnético; *GEOACTA*, 10, 79.
- Heelis, R.A., Kendall, P.C., Moffett, R.J., Windle, D.W. y Rishbeth, H., 1974: Electrical coupling of the E- and F-regions and its effect on F-region drifts and winds; *Planet. Space Sci.*, 22, 743.
- Jacchia, L.G., 1965: Static diffusion models of the upper atmosphere with empirical temperature profiles; *Smithsonian Contr. Astrophys.*, 8, 215.
- Jacchia, L.G., 1971: Revised static models of the thermosphere and exosphere with empirical temperature profiles; *Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep.* 332.
- King-Hele, D.G. y Walker, D.M.C., 1977: Upper-atmosphere zonal winds: variation with height and local time; *Planet. Space Sci.*, 25, 313.
- Rishbeth, H., 1971: Polarization fields produced by winds in the equatorial F-region; *Planet. Space Sci.*, 19, 357.
- Thomas, J.O., 1962: The electron density distribution in the F-region of the ionosphere, en "Electron density profiles in the ionosphere and exosphere", Pergamon Press, New York.
- Waldteufel, P. y McLure, J.P., 1969: Preliminary comparisons of middle and low latitude Thomson scatter data; *Annls. Géophys.*, 25, 785.
- Woodman, R.F., 1972: East-west ionospheric drifts at the magnetic equator; *Sp. Res.* XII, 969.

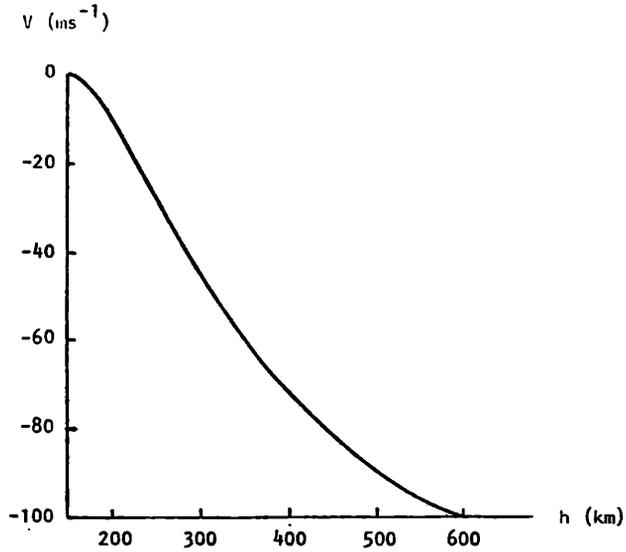


FIGURA 1

Variación con la altura de la velocidad iónica zonal al mediodía en el ecuador.

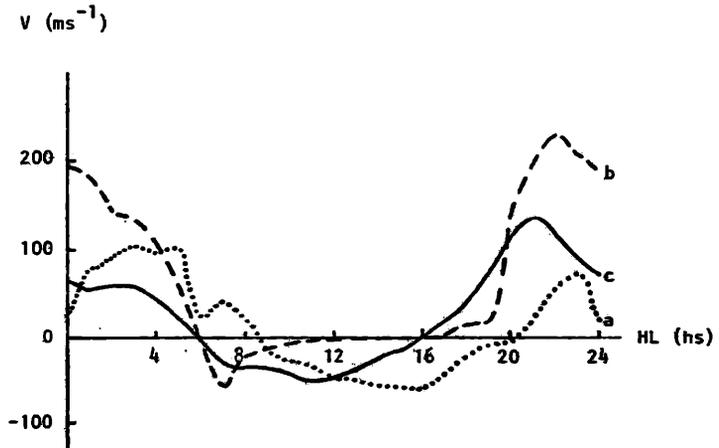


FIGURA 2

Variación con la hora local de la velocidad iónica zonal a los 300 km de altura calculada con el presente modelo (curva (a)), con el modelo anterior (Duhau y Louro, 1980) (curva (b)) y medida por Woodman (1972) (curva (c)).

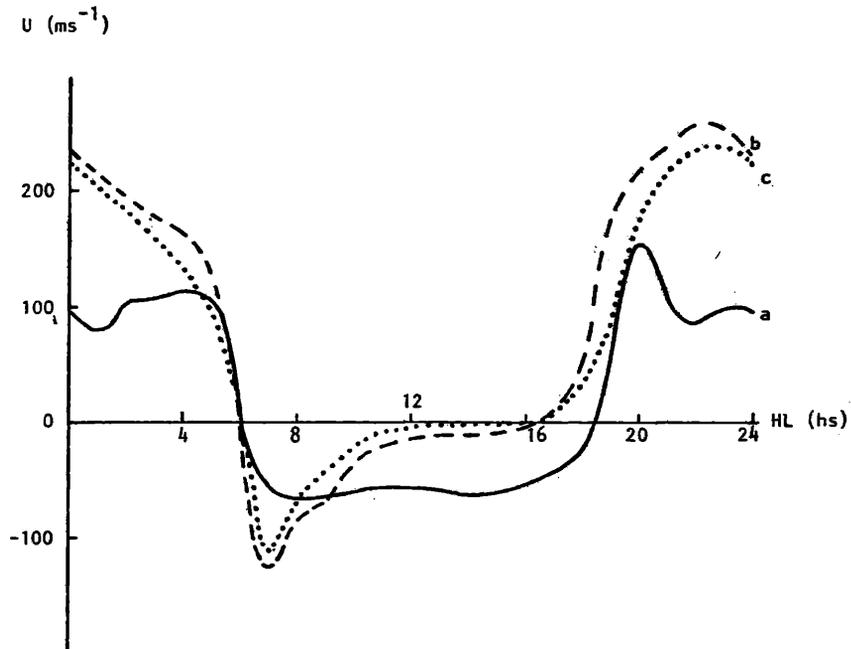


FIGURA 3

Variación con la hora local de la velocidad neutra zonal  $U$  a los 300 km calculada con el presente modelo (curva (a)), con el modelo anterior (Duhaou y Louro, 1980) (curva (b)) y por Rishbeth (1971) (curva (c)).

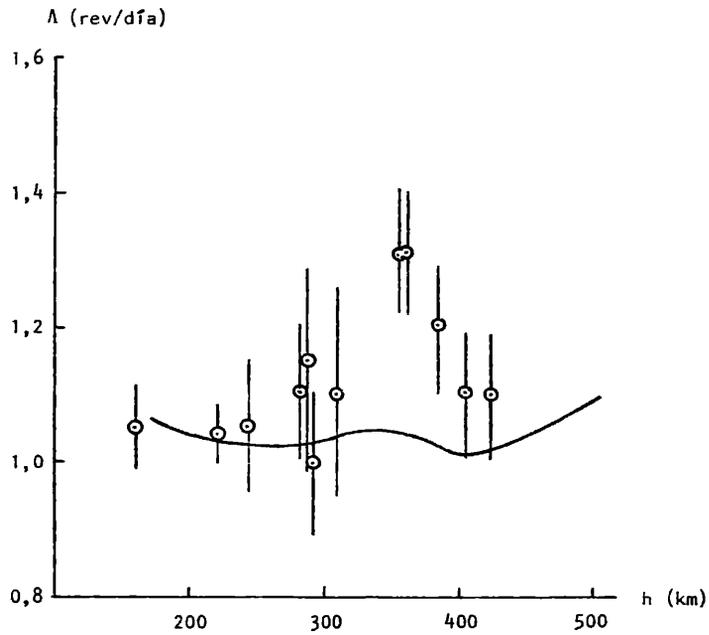


FIGURA 4

Variación con la altura del coeficiente de superrotación  $\Lambda$  (promedio de 0 a 24 HL) según King-Hele y Walker (1977) (círculos) y calculada en el presente trabajo (curva llena).

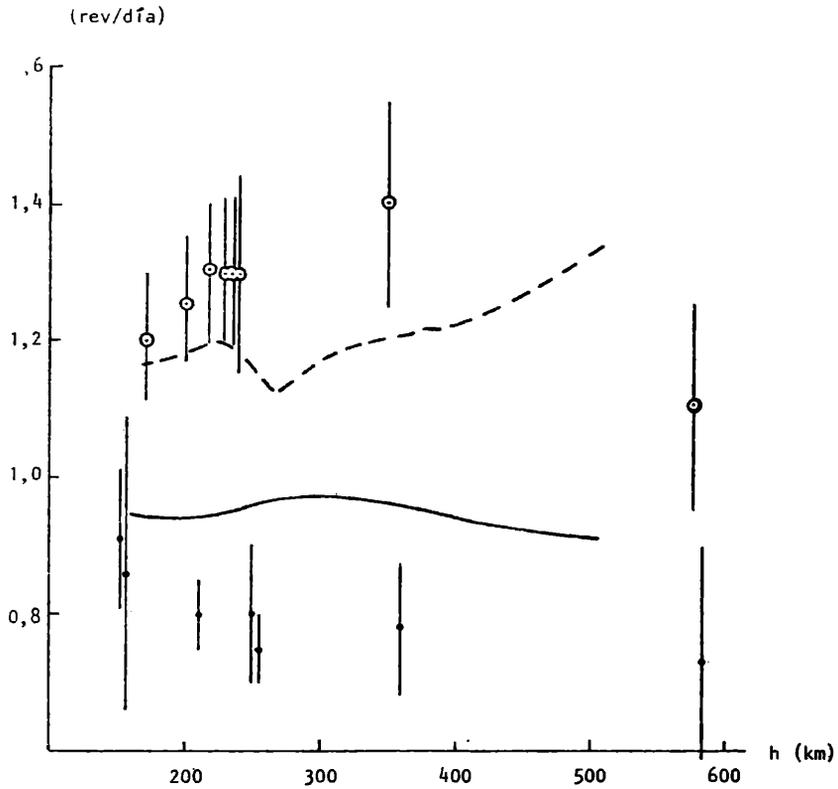


FIGURA 5

Variación con la altura del coeficiente de superrotación  $\Lambda$  para los períodos de 4 a 12 hs (puntos y curva llena) y 18 a 24 hs (círculos y curva de trazos). Los puntos y círculos representan los valores experimentales (King-Hele y Walker, 1977) y las curvas los resultados del presente cálculo.

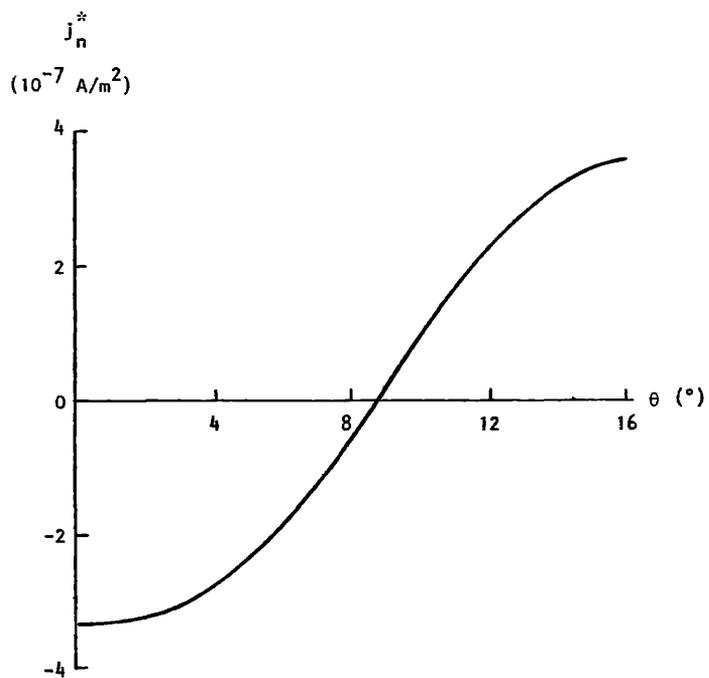


FIGURA 6

Variación con la latitud de la corriente normal  $j_n$  en la base de la capa F al mediodía.

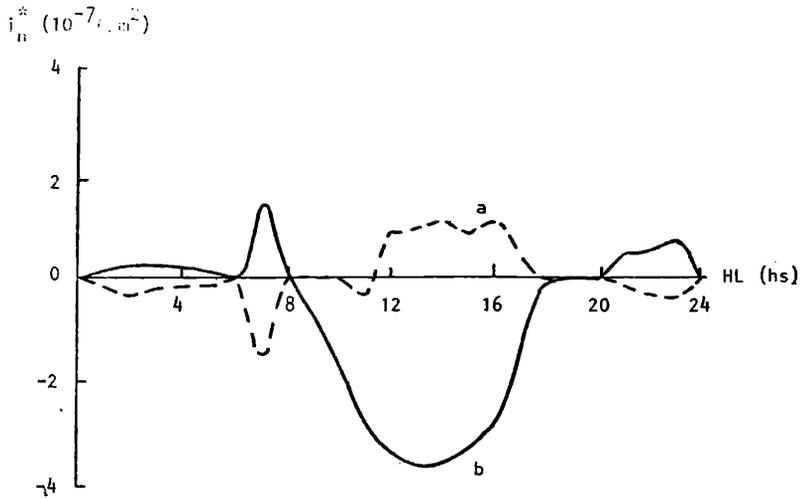


FIGURA 7

Variación con la hora local de la corriente normal  $j_n$  en la base de la capa F a las latitudes de  $0^\circ$  (curva (a)) y  $10^\circ$  (curva (b)).

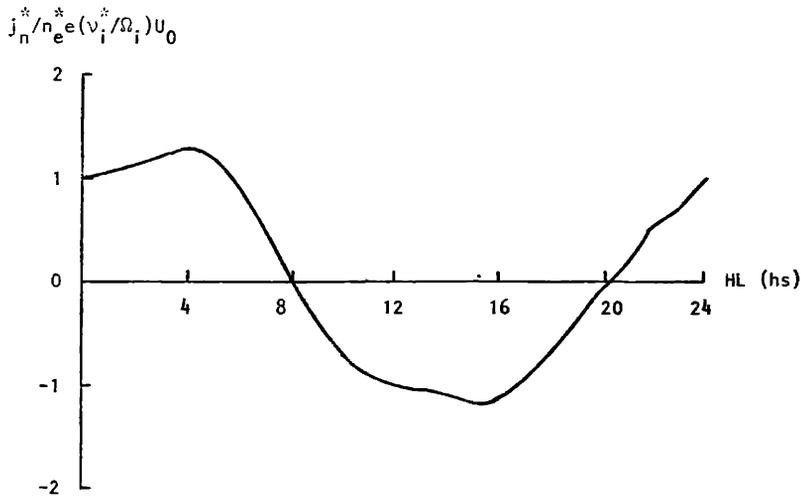


FIGURA 8

Variación con la hora local de  $j_n/n_e(v_i/\Omega_i)U_0 = (U - V)/U_0$  en la base de la capa F ( $U_0 = 50$  m/s).

