

Dependencia latitudinal de la densidad electrónica en la ionosfera superior de la zona del Caribe*

**Giselle GIL MORENO,
**Berta MELENDEZ OLIVEROS
y **José S. GONZALEZ RODRIGUEZ

RESUMEN. *El estudio de los perfiles $N(h)$ obtenidos a partir de la reducción de los ionogramas de la ionosfera superior registrados desde el satélite IK-19, permitió un análisis de la dependencia latitudinal de la densidad electrónica a alturas fijas por encima de h_{max} . En este trabajo se determinó que los valores se ajustaban a una distribución exponencial creciente hacia el ecuador tanto por el día como por la noche. Se confirmó que el máximo de densidad electrónica sobre el ecuador disminuye con el aumento de la altura y que es menos pronunciado por la noche que por el día, completando lo planteado por otros autores para baja actividad solar.*

INTRODUCCION

El estudio de la ionosfera superior comenzó con el lanzamiento de satélites artificiales terrestres y se ha desarrollado a la par con ellos. La primera estación de sondeo vertical se puso a bordo de los satélites Allouette I y II y permitió un amplio estudio del comportamiento medio de la ionosfera por encima del h_{max} (Chan, 1966; Chan y Colin, 1969; Sato, 1968; Jackson, 1969).

Chan y Colin realizaron un estudio morfológico de la distribución latitudinal de la densidad electrónica de la ionosfera exterior a alturas constantes para diferentes estaciones del año durante un período de baja ac-

tividad solar. Estos autores pudieron determinar valores promedio para el día y la noche para condiciones tranquilas y perturbadas sobre el continente americano. En este trabajo se observó que la anomalía ecuatorial se evidencia por encima de h_{max} para las alturas de 400 y 500 km mientras que para las alturas superiores aparecía un solo máximo sobre el ecuador magnético.

En 1978 a bordo del satélite IK-18 del programa INTERCOSMOS se colocaron son-

*Manuscrito aprobado en diciembre de 1990.

**Instituto de Geofísica y Astronomía de la Academia de Ciencias de Cuba.

das de Langmuir esféricas y cilíndricas que permitieron realizar estudios del comportamiento latitudinal de la densidad electrónica N_e , y de la temperatura electrónica, T_e , en la zona de latitudes medias en los cuales se destacó la relación entre la aparición de la depresión de latitudes medias y el aumento de T_e (Best *et al.*, 1981). También pudo estimarse la distribución espacial de los niveles de N_e a los 400 km de altura en la región del Caribe, observándose una débil dependencia latitudinal en esta zona (Gil y Best, 1987).

En 1979 el programa INTERCOSMOS puso en órbita una estación de sondeo vertical en el satélite IK-19. La reducción de los ionogramas obtenidos durante el período de vuelo de este satélite (1979-1981) ha llevado a la realización de diversos trabajos sobre el comportamiento del perfil $N(h)$ en

dependencia del nivel de actividad solar y de la actividad magnética para distintas bandas de longitud (Benkova *et al.*, 1983, 1984; Diominov y Karpachov, 1983).

González *et al.*, (1985) presentan ejemplos de la variación latitudinal de la frecuencia crítica de la capa F2 de la ionosfera obtenida de los ionogramas registrados por el satélite IK-19 sobre el Caribe durante condiciones magneto-tranquilas. Aquí se observa una tendencia a aumentar los valores de N_{max} para latitudes cercanas al ecuador de acuerdo a lo encontrado por otros autores.

En este trabajo presentamos los resultados del análisis del comportamiento latitudinal de la densidad electrónica a diferentes alturas en la zona del Caribe para el período de alta actividad solar y se compara con los resultados obtenidos por Chan y Colin (1969) para baja actividad solar.

MATERIALES Y METODOS

Como datos de partida se tomaron los ionogramas registrados por una estación de sondeo vertical a bordo del satélite IK-19. Este satélite voló desde 1979 hasta 1981 correspondientes al máximo de actividad solar del ciclo solar E21.

Para el presente trabajo se escogieron 6 vueltas correspondientes a condiciones magneto-tranquilas ($k_p < 3$) distribuidas entre los tres años del período registrado. Los datos principales de estas vueltas se muestran en la tabla 1.

TABLA 1. Datos principales de las vueltas utilizadas. LT, Local Time

FECHA	VUELTA	LT	$F_{10,7}$	C. INICIAL		C. FINAL		DIP	MAGN.
				LAT	LONG	LAT	LONG		
21-2-80	5188	08,0	169,6	36,2	272,4	5,8	280,7	67,0	32,4
6-3-80	5389	06,0	169,4	33,7	276,1	8,8	282,8	65,1	37,3
2-4-80	5777	01,0	181,1	34,2	273,6	1,8	281,8	65,2	26,1
27-9-80	8365	14,5	183,2	42,3	271,4	1,2	283,0	71,7	25,4
3-7-81	12406	22,3	163,3	13,6	274,5	46,8	285,7	42,9	74,6
12-7-81	12536	20,5	167,7	24,5	272,6	33,2	275,0	55,7	64,5

La estación ionosférica registra un ionograma cada 8 segundos y el satélite viaja avanzando aproximadamente 0,05 grados de latitud por segundo mientras que la variación en longitud es de sólo 0,02°/seg. Nues-

tra estación receptora nos permite registrar la señal del satélite durante aproximadamente 15 minutos, es decir desde los 45 grados de latitud norte hasta aproximadamente el ecuador geográfico.

Sin embargo, durante cada pase del satélite se registran 50 ó 60 ionogramas aproximadamente de los 100 teóricamente posibles debido a interferencias y otros tipos de problemas técnicos.

Para analizar la dependencia latitudinal de la densidad electrónica fue necesario calcular los perfiles $N(h)$ de cada uno de los ionogramas registrados durante las vueltas escogidas, para obtener los valores de densidad electrónica. Este proceso se realizó mediante un programa diseñado a partir del

algoritmo desarrollado por Jackson (1969). Una vez obtenidos los gráficos de N vs. $Inclinación Magnética$ se evidenció un aumento exponencial de la densidad con la disminución de la latitud. Por esto se calcularon regresiones del tipo:

$$\ln(\text{densidad}) = a + b \cdot \text{latitud}$$

para altura fija, y se calcularon las dependencias teóricas. Este proceso se realizó con ayuda del sistema MICROSTA, para 400, 500 y 600 km de altura.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las regresiones lineales calculadas del logaritmo de la densidad con la latitud dieron coeficientes de correlación altos, como se muestra en la tabla 2. Como vemos los valores del exponente son pequeños, lo que nos dice que es muy poco el aumento de

la densidad con la disminución de la latitud. Los coeficientes de correlación se muestran junto con sus intervalos de confianza calculados para una significación de 5 %. El ajuste, suponiendo que la dependencia es lineal, no mejora e incluso empeora, en algunos casos, la regresión.

TABLA 2. Resultados estadísticos de los ajustes realizados.

Vuelta	h (km)	$N(h)$ ($\times 10^3 \text{cm}^{-3}$)	Exp.	No. casos	r	Int. de confianza
5188	400	1115.52	-.0387	21	-.90	(-.77, -.96)
	500	458.54	-.0336	23	-.88	(-.74, -.95)
5389	400	140.75	-.0299	20	-.95	(-.88, -.98)
	500	73.49	-.0340	21	-.98	(-.95, -.1)
	600	51.56	-.0270	12	-.97	(-.89, -.1)
5777	400	865.83	-.0117	29	-.90	(-.80, -.95)
	500	487.98	-.0104	33	-.60	(-.33, -.79)
	600	231.20	-.0060	35	-.68	(-.45, -.83)
8365	400	2810.21	-.0228	28	-.99	(-.97, -.1)
	500	2373.46	-.0363	36	-.98	(-.96, -.99)
	600	1535.83	-.0416	41	-.96	(-.92, -.98)
12406	400	1378.53	-.0546	34	-.86	(-.74, -.93)
	500	615.09	-.0510	34	-.94	(-.89, -.97)
	600	262.09	-.0456	34	-.94	(-.89, -.97)
12536	400	1360.37	-.0311	15	-.95	(-.85, -.98)
	500	581.30	-.0236	18	-.87	(-.68, -.95)
	600	277.74	-.0192	18	-.88	(-.73, -.95)

Como ejemplo del ajuste logrado mostramos los puntos utilizados en las regresiones

y las rectas ajustadas para los 400 km de altura de la vuelta 8365 (Fig. 1).

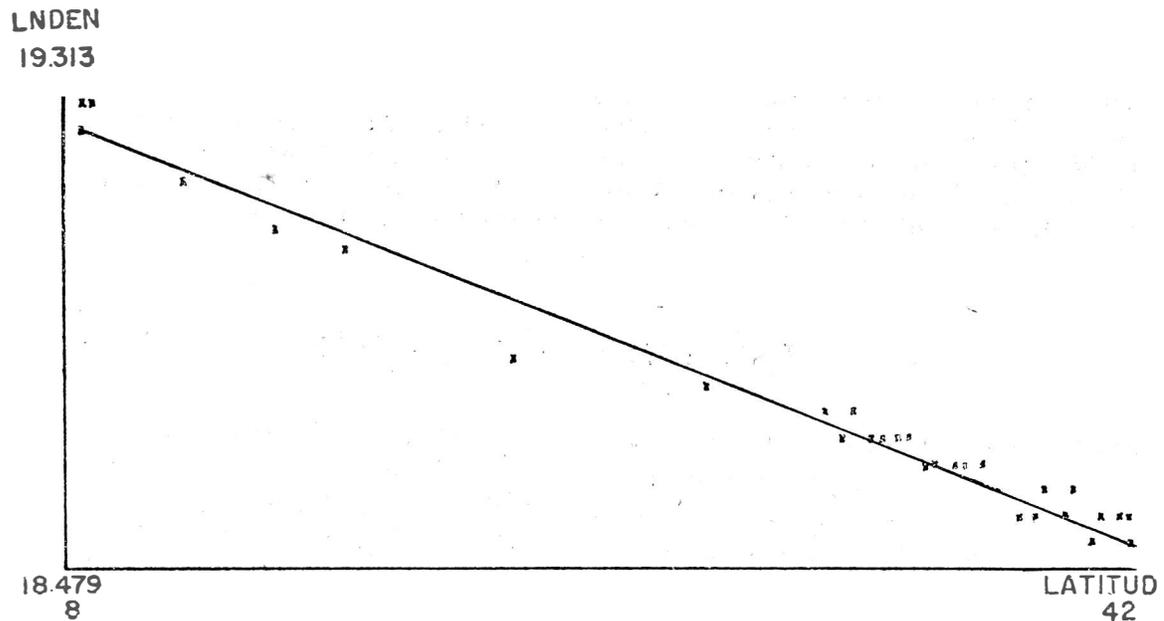


Fig. 1. Regresión lineal del logaritmo de la densidad con la latitud, Vuelta 8365, 400 km.

En la Fig. 2 pueden verse dos ejemplos del comportamiento de la dependencia latitudinal de la densidad electrónica para una vuelta diurna (8365) y otra nocturna (12406), para los tres niveles de altura. La línea continua representa la dependencia teórica calculada, las cruces los valores extraídos del perfil y la línea discontinua, los valores promedios calculados por Chan y Colin (1969), para baja actividad solar correspondiente al solsticio de Junio en horas nocturnas y para el equinoccio en horas diurnas respectivamente.

En las curvas de Chan y Colin para el verano nocturno se observa la depresión de latitudes medias alrededor de los 57° de inclinación magnética. Esta depresión se acentúa con el aumento de la altura. Para mayor claridad hemos incluido la curva correspondiente a los 1 000 km de altura. Esta

depresión no se observó a esa latitud el día de la vuelta 12406 a las alturas estudiadas.

La diferencia en un orden entre los valores medios calculados por Chan y Colin y los obtenidos por nosotros puede explicarse debido al aumento en actividad solar (ver tabla 1) en el período 1979-1981.

En la Fig. 2 también puede observarse que el crecimiento hacia el ecuador es menos marcado en las curvas correspondientes a los 600 km que en las correspondientes a los 400 km de altura. Para aclarar este comportamiento se calcularon los gradientes latitudinales de la densidad electrónica. En la Fig. 3 vemos reflejados estos gradientes para los tres niveles de altura de la vuelta 12406. En estos también la dependencia latitudinal es menor a mayor altura como era de esperarse.

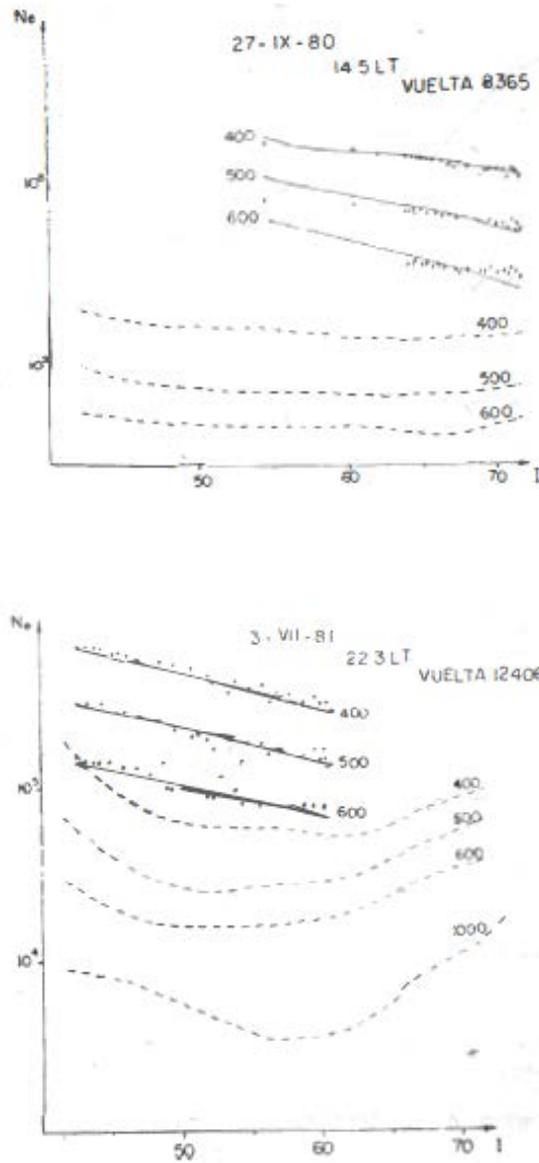


Fig. 2. Comportamiento de la dependencia latitudinal de la densidad electrónica para una vuelta diurna (A) y otra nocturna (B). Línea continua: curva teórica. Línea discontinua: curva según Chan y Colin (1969).

VUELTA 12406

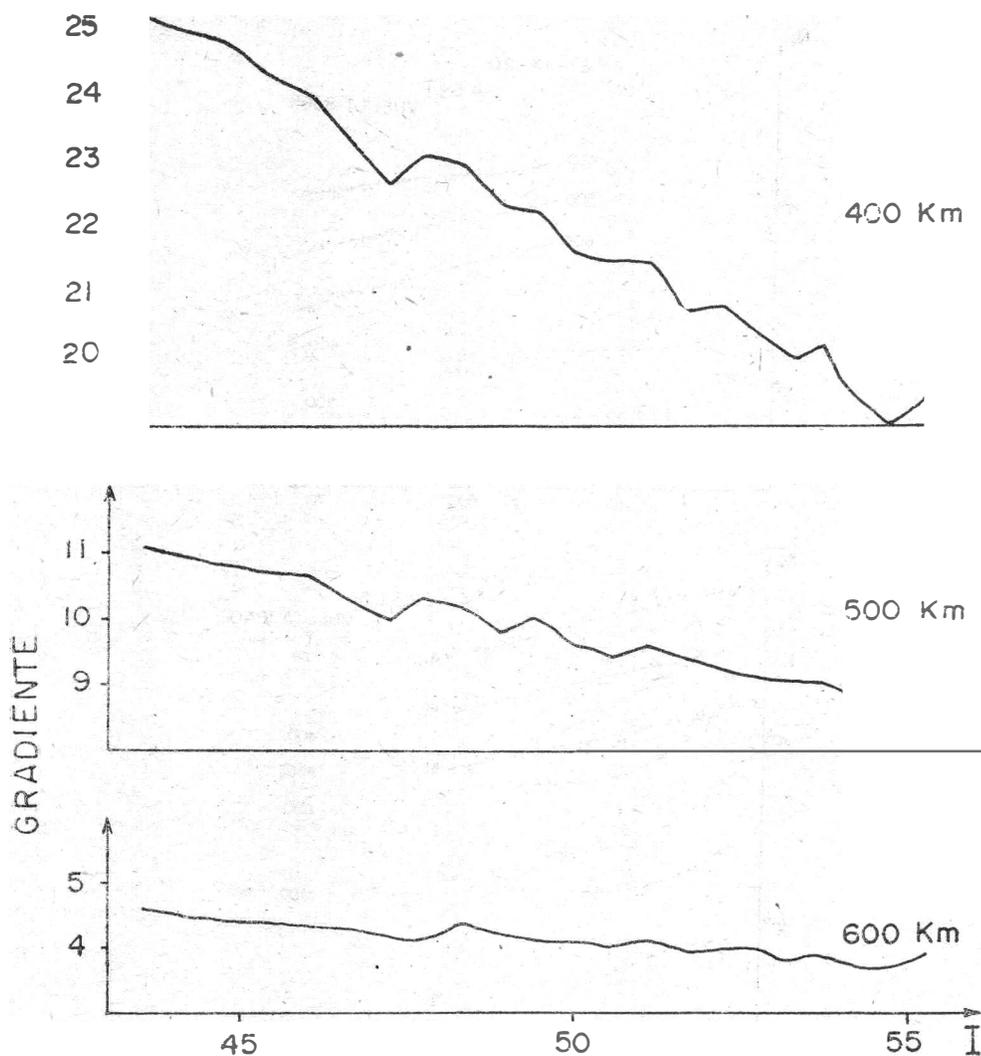


Fig. 3. Gradientes latitudinales de la densidad electrónica.

CONCLUSIONES

La dependencia latitudinal de la densidad electrónica de la ionosfera exterior para una altura determinada puede expresarse como una variación exponencial creciente hacia el ecuador, tanto por el día como por la noche.

Esta dependencia es muy suave y disminuye a medida que avanzamos en altura. Los resultados obtenidos para el período 1979-1981 de alta actividad solar complementan los obtenidos por Chan y Colin (1969) para baja actividad solar.

REFERENCIAS

- Benkova, N. P., G. V. Vasiliev, E. F. Koslov, N. A. Kochenova, Yu. V. Kushnerevski, N. I. Samarokin, A. I. Filippova, y M. D. Fligel (1983): Perfiles de concentración electrónica de las zonas subaurorales por los datos del SAT IK-19 y estaciones terrestres [en ruso]. En *Proceeding of the Symposium organized by KAPG*, projects 5 and 6, Praga, 28-31, march, pp. 43-52.
- Benkova, N. P., N. A. Kochenova, A. D. Legenka, M. N. Fatkullin, y M. D. Fligel (1984): Model representation of mid-latitude electron density by means of INTERCOSMOS-10 DATA *Adv. Space Research*, 4(1):51-58.
- Best, A., D. Johanning, H. R. Lehmann, W. Seifert, C. U. Wagner y J. Rustenbach (1981): Variaciones de los parámetros del plasma, frío en la región de la depresión de latitudes medias. *Adv. Space Res.*, 1(2):227-230.
- Colin, L., y K. L. Chan (1969): Distribución global de la densidad electrónica a partir de Sondeo desde satélite. *Proc. IEEE*, 57(6):990-1003.
- Chan, K. L. (1966): Sobre la ionosfera exterior del continente, americano. *Radio Sci Sci*, 1(10): 1158-1167.
- Diominov, M. G., y A. J. Karpachov (1983): Efecto longitudinal, en la anomalía Ecuatorial. En *Física de la ionosfera y la magnetosfera*, NAU-KA, IZMIRAN, pp. 16-21.
- Gil, G., y A. Best (1987): Resultados preliminares de mediciones, directas de la concentración en la zona del Caribe. En Simposio Internacional sobre la Meteorología Tropical, Resúmenes, La Habana, pp. 37.
- González, J. S., N. P. Benkova, N. A. Kochenova, Yu. V. Kushnerevski, y N. V. Serebriakova (1985): Resultados preliminares de las mediciones de la ionosfera en Cuba, mediante el Sondeo Vertical, desde Tierra y satélites [en ruso]. En Preprint N: 53(586), IZMIRAN, Moscú, 19 pp.
- Jackson, J. E. (1969): La reducción de ionogramas de satélites a perfiles de densidad electrónica. *Proc. IEEE*, 57(6):960-975.
- Sato, I. (1968): Variaciones de la concentración electrónica de la ionosfera exterior entre los 60° N y los 60° S de la latitud geomagnética asociada a perturbaciones geomagnéticas. *J. Geo. Res.*, 73(19):6225-6241.

Ciencias de la Tierra y del Espacio 21-22, 1993

LATITUDINAL DEPENDENCE OF THE ELECTRON DENSITY
OBTAINED FROM THE TOPSIDE IONOSPHERE OF THE
CARIBBEAN REGION

Giselle GIL MORENO,
Berta MELENDEZ OLIVEROS
and José S. GONZALEZ RODRIGUEZ

ABSTRACT. *Latitudinal dependence of electron density contours at fixed heights above h_{max} were analyzed from $Ne(h)$ profiles of the Caribbean region obtained from IK-19 satellite topside ionospheric ionograms. Values were adjusted to an exponential distribution increasing towards the equator during daytime and nighttime. The electron density equatorial maximum decrease with height and during nighttime was confirmed in this paper extending what was found by other authors for low solar activity.*