

EVALUACION ESTADISTICA DE LA DENSIDAD ELECTRONICA
MAXIMA A -12° DE LATITUD DIP.

Ana Martínez de Garat*, José Roberto Manzano*

Laboratorio de Ionosfera, Instituto de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.

Eduardo Francisco Garat

Instituto de Matemáticas, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.

RESUMEN

Se estudia la distribución de la densidad electrónica máxima de la región F2 de la ionosfera a -12° de latitud dip. En este trabajo se comparan datos experimentales obtenidos por sondadores con valores proporcionados por el SLIM (Modelo Ionosférico Semiempírico para Bajas Latitudes).

El modelo muestra las densidades electrónicas como una función de la altura, la latitud dip y el tiempo local, resolviendo numéricamente la ecuación de continuidad del O^+ . No se tiene en cuenta el efecto longitudinal.

Los datos experimentales que se analizan provienen de Tucumán y Vanimo. Se ha trabajado con las medianas mensuales de la frecuencia crítica máxima para ambos solsticios y el equinoccio, realizando un promedio de los meses correspondientes.

Se han calculado los coeficientes de correlación ρ y de regresión $\hat{\beta}$ y también se han construido rectas de regresión entre los valores experimentales y los determinados por el modelo. Para ambas estaciones, existe un buen acuerdo en el equinoccio mientras que en el solsticio de diciembre es cuando se manifiesta el mayor apartamiento entre los valores medidos y los calculados.

ABSTRACT

The ionospheric F2 region maximum electronic density distribution at -12° dip latitude is studied. In this paper sounders experimental data are compared with SLIM ("Semi Empirical Low-Latitude Ionospheric Model") values.

In this model, electron densities as a function of altitude, latitude and local time are calculated by solving the time dependent ion (O^+) continuity equation numerically. The longitudinal effect is not taken into account.

* Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET.

Experimental data analyzed are from Tucumán and Vanimo. Average maximum critical frequency monthly medians were used for both solstices and equinox. Correlation and regression coefficients were computed and the regression lines, between experimental and model data were plotted. There is a good agreement during equinox in both stations while in december solstice an important distance between computed and measured data is observed.

INTRODUCCION

Como es conocido la región F está subdividida en la capa F2, de máxima concentración electrónica y donde a su vez se encuentra el pico de concentración de iones O^+ , y la capa más baja F1 que constituye la zona de transición entre iones moleculares y atómicos. Globalmente, en la región F predomina el O^+ con concentraciones de 10^{11} a $10^{12} m^{-3}$.

La fenomenología de la región F2, en particular, es muy compleja. Además de la producción de ionización por radiación electromagnética y las reacciones químicas involucradas en los mecanismos de pérdida de los electrones, la F2 está afectada fuertemente por el transporte de ionización bajo la acción de fuerzas electromagnéticas, vientos, difusión y variaciones de temperatura.

La región F2 ecuatorial presenta un fenómeno interesante, usualmente llamado Anomalía de Appleton o anomalía ecuatorial. Basándose en una teoría simple la densidad electrónica debiera ser máxima sobre el ecuador en el equinoccio, debido a que el sol está sobre cabeza y la velocidad de ionización es máxima. Pero en realidad la densidad electrónica adquiere un valor mínimo sobre el ecuador de dip magnético con máximos ubicados entre 15° y 20° de latitud dip al norte y al sur. La anomalía existe durante la mayor parte del día desapareciendo hacia la medianoche, dependiendo estrechamente de la actividad solar.

Las líneas de campo geomagnético, prácticamente horizontales en la región ecuatorial actuando en conjunto con un fuerte campo eléctrico hacia el este, provoca una deriva vertical del plasma hacia arriba con velocidad $\vec{E} \times \vec{B} / B^2$. Posteriormente el gas ionizado que se ha elevado difunde a lo largo de las líneas de campo geomagnético a latitudes subecuatoriales dando lugar al gran incremento de la densidad electrónica que forma los picos de la anomalía (Fejer, 1981; Martínez de Garat y otros, 1987; Rishbeth, 1988; Manzano, 1989).

El objetivo del presente trabajo es hacer un aporte al estudio de la región F2 ecuatorial comparando valores experimentales con los proporcionados por el modelo Iónico Semiempírico de Bajas Latitudes (SLIM) elaborado por Anderson, Mendillo y Hertner en 1985.

Este modelo calcula las densidades electrónicas como una función de la altura, la latitud y el tiempo local resolviendo numéricamente la ecuación de continuidad del ión

O^+ . Incluye los efectos de producción por fotoionización, la pérdida a través del intercambio de carga con el nitrógeno y el oxígeno molecular, transporte por difusión, vientos neutros y deriva vertical $\vec{E} \times \vec{B}$. Los cálculos se desarrollan para condiciones de equinoccio y solsticio, tanto para períodos de máxima como de mínima actividad solar.

El modelo de Anderson y otros (1985), calcula perfiles de NmF2 (densidad electrónica máxima de la capa F2) para cada latitud dip y para cada hora del día (TL), pero sin tener en cuenta el efecto longitudinal. Los valores de NmF2 son proporcionados cada 4° , desde 0° hasta $\pm 24^\circ$ del ecuador de dip. Los datos están agrupados por ciclo solar y dentro de cada ciclo solar por estación (equinoccio, solsticio de junio y solsticio de diciembre).

DATOS EXPERIMENTALES

Los datos experimentales que se analizan fueron proporcionados por sondadores ubicados en Tucumán ($-11,5^\circ$ de latitud dip) y Vanimo ($-10,9^\circ$), los cuales han sido ligeramente corregidos para poderlos comparar con los -12° que considera el modelo. Estas estaciones han sido seleccionadas, entre otras cosas, porque se encuentran aproximadamente a la misma latitud dip, longitudinalmente distantes entre sí, y muy cerca del máximo de la anomalía ecuatorial.

Para poder efectuar la comparación entre el modelo y los valores experimentales debe calcularse NmF2 a partir de los datos de la frecuencia crítica máxima -foF2- proporcionados por los sondadores; o sea:

$$foF2^2 = 80.6 \text{ NmF2}$$

para el sistema de unidades MKS con foF2 expresado en Hz y NmF2 en m^{-3} . Se ha trabajado con las medianas horarias mensuales de 1975, año de mínima actividad solar, considerando ambos solsticios y el equinoccio para lo cual se ha realizado un promedio de los meses correspondientes. Esto implica dividir el año en tres períodos o estaciones de cuatro meses cada uno.

EVALUACION ESTADISTICA

El modelo de Anderson puede ser contrastado con los datos experimentales en forma directa, mediante la superposición de gráficas por ejemplo. Esto, si bien resulta útil es insuficiente teniendo en cuenta que se trata de dar una opinión sobre bases analíticas y cuantitativas en la medida de lo posible. De todas formas estas gráficas se han realizado para Tucumán y Vanimo, y puede comprobarse que proporcionan valiosa información. Ver figura 1.

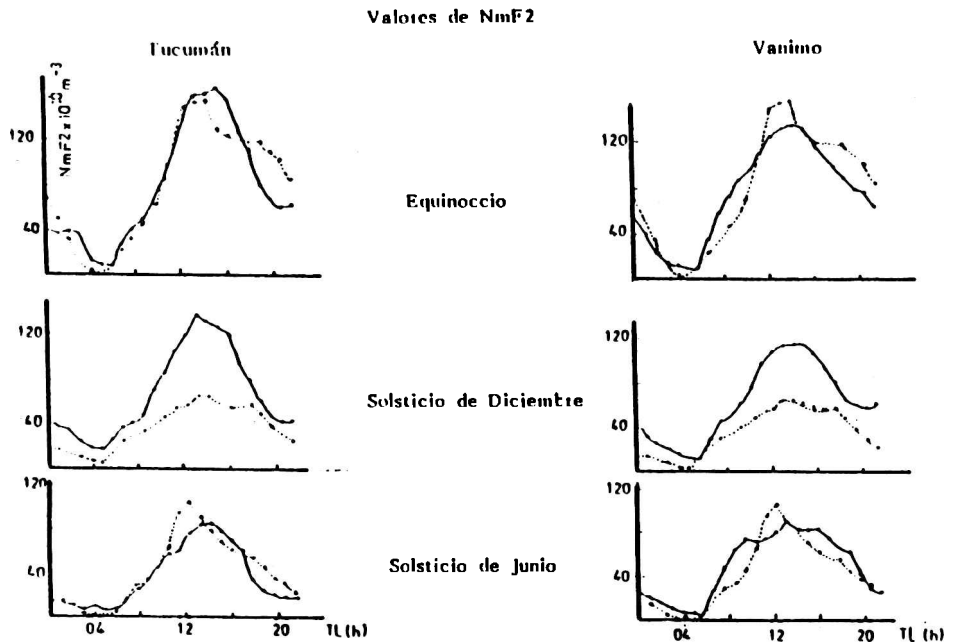


Fig. 1: Valores de NmF2 -densidad electrónica máxima de la capa F2- graficados en función del tiempo local para Tucumán y Vanimo. Se superponen los valores dados por el modelo (línea de trazos) con los experimentales (línea llena) para el equinoccio y ambos solsticios.

Para estas dos estaciones y para los tres períodos del año se calcularon los coeficientes de correlación ρ entre el modelo y los valores medidos, siendo éstos superiores o cercanos a 0,9 en la mayoría de los casos. Teniendo en cuenta que el coeficiente de correlación es invariante ante un cambio de escala, un buen valor para éste no implica necesariamente un acuerdo correcto entre el modelo y los datos. Así, se ha de terminado también el coeficiente de regresión β , que representa la pendiente de la recta de regresión. Cuanto más próximo sea su valor a la unidad, más estrecha es la correspondencia entre ambos conjuntos de datos. Ver figura 2.

En el ajuste de las regresiones se han hecho los supuestos clásicos de homocedasticidad en los errores normales con media cero. Los datos presentan pocos puntos aislados ("out lier"), los valores extremos están siempre a menos de dos desviaciones estándar de la media, por lo que se considera que tienen poca variabilidad.

Rectas de Regresión

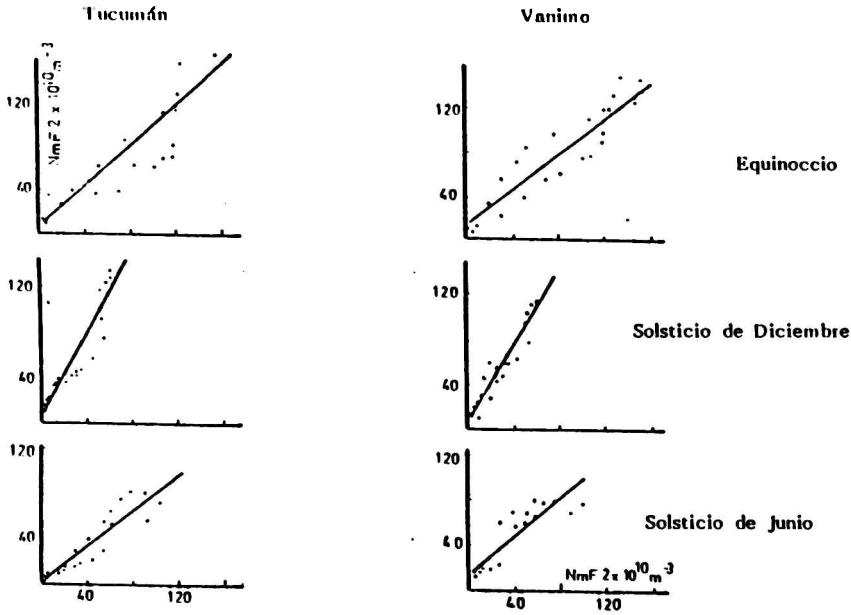


Fig. 2: En el eje vertical se han consignado los valores experimentales y en el horizontal los proporcionados por el modelo.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La siguiente tabla sintetiza los resultados de los cálculos:

	EQUINOCCIO		SOLSTICIO		SOLSTICIO		DICIEMBRE	
	TUCUMAN	VANIMO	TUCUMAN	VANIMO	TUCUMAN	VANIMO	TUCUMAN	VANIMO
ρ	0,92	0,94	0,93	0,91	0,95	0,95		
β	0,93	0,79	0,81	0,86	1,86	1,66		
Razón F	118,18	155,05	131,42	111,62	186,14	242,89		
Test T	10,87	12,45	11,46	10,56	13,64	15,58		

El estudio conjunto de la correlación y la regresión proporciona una herramienta adecuada para la evaluación del modelo. En nuestro caso, las figuras superpuestas que

se acompañan permiten una aproximación cualitativa al problema.

El análisis de la varianza da en todos los casos un valor alto para la razón F, como puede verse en la tabla. Así puede rechazarse la hipótesis nula con un alto grado de significación, lo cual coincide con los resultados de los test T, cuyos valores se muestran en la tabla. De lo anterior se sigue que los coeficientes estimados son significativos a un nivel de $\alpha = 0,0001$, o sea altamente significativos.

El modelo presenta su mejor ajuste para el equinoccio, especialmente en Tucumán. El mayor alejamiento se observa en el solsticio de diciembre en ambas estaciones pues los valores medidos de NmF2 están notablemente subestimados por el modelo, lo que hace evidente la necesidad de un reajuste. En el invierno, (solsticio de junio) ambas zonas están representadas en forma similar, con los valores de NmF2 ligeramente sobreestimados por el modelo.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson, D.; Mendillo M. y Hertniter B., 1985: A semi-empirical, low-latitude, ionospheric model; Ionospheric Physics Division, Air Force Geophysics Laboratory - TR - 85 - 0254.
- Fejer, B.G., 1981: The equatorial ionospheric electric fields. A review; J. Atmos. Terr. Phys., 43, 377.
- Martínez de Garat, A.; Manzano, J.R. y Radicella, S.M., 1987: Análisis comparativo de la anomalía ecuatorial de la ionosfera para las regiones americana y australasiática; Rev. de Geofísica, España, 43, 193.
- Manzano, J.R., 1989: Upper ionosphere and magnetospheric - ionospheric coupling. College on Theoretical and Experimental Radiopropagation Science, ICTP, Trieste, Italia.
- Rishbeth, H., 1988: Basic physics of the ionosphere: a tutorial review, Journal of the Institution of Electronic and Radio Engineers, Vol. 58, N° 6 (Supplement), pp. S207 - S223, September - December.