

PERTURBACIONES IONOSFÉRICAS VIAJERAS (PIV) DEBIDAS  
A TORMENTAS SOLARES

Alberto E. Giráldez

Laboratorio Ionosférico de la Armada  
Vicente López (Buenos Aires)

RESUMEN

La generación de ondas gravitatorias en la región auroral por calentamiento ionosférico permite la observación de PIV, que se desplazan hacia el ecuador. Durante un período muy perturbado (Septiembre 1977) se observa sobre la Estación Ionosférica Buenos Aires el efecto de las ondas gravitatorias que dan lugar a las PIV. Algunos ejemplos de intensas modificaciones ionosféricas en la región E debidas a este fenómeno son analizadas.

ABSTRACT

Gravity waves generated in the auroral region by ionospheric heating permit the observation of Travelling Ionospheric Disturbances (TID's) which move towards the equator. During an extremely disturbed period (September 1977) the effect of gravity waves which give rise to TID's were detected at Buenos Aires Ionospheric Station. Some examples of intense modifications at E-region heights due to this phenomena are analyzed.

INTRODUCCION

El estudio experimental de las ondas gravitatorias (O.G.) ionosféricas es realizado (Richmond, 1978 como fuente bibliográfica) en forma indirecta, por los efectos que éstas producen en la ionosfera. En la alta ionosfera (región F) el estudio de las PIV permite inferir las características del fenómeno que las provoca,

Francis (1975), Testud (1970).

En la ionosfera media (90-140km) el efecto de las O.G. no es similar al de la región F. En este caso la técnica de retrodispersión ha resultado ser de mucha utilidad, Evans (1978), Miller & Smith (1978). En la baja ionosfera (60-90km) el análisis se realiza por medio de la observación de trazas meteóricas, Hines (1960).

En el presente trabajo se utiliza la técnica de sondajes verticales para analizar la respuesta de la ionosfera media (región E) a la incidencia de O.G. En particular, el análisis se centra en las capas E-Esporádicas (Es), que debido a su particular mecanismo de formación, McLeod (1966), Whitehead (1961, 1970), Axford (1961, 1963), Chimonas & Axford (1968) resulta ser muy sensible a las perturbaciones del sistema de vientos neutros, Miller & Smith (1975, 1976), Chiu & Ching (1978). Esta característica de extrema sensibilidad de las capas Es a las alteraciones del sistema de vientos neutros de la región E, lleva al autor a reinterpretar los datos obtenidos mediante la técnica de sondadores verticales, para un período de gran actividad solar a partir de la hipótesis de que las variaciones bruscas de densidad electrónica en casos de fuerte perturbación de la dinámica ionosférica están gobernados por el espectro de ondas gravitatorias intensas en la región E.

#### RESULTADOS EXPERIMENTALES

El análisis de la variación de densidad electrónica y la altura de capa para las Es sobre Buenos Aires para el período antes mencionado, indica fuertes perturbaciones debido a un conjunto de fuertes fulguraciones solares. Los efectos observados en la región F son de similar importancia y debidos al mismo fenómeno, pero no

serán tratados en este trabajo.

La Figura 1 muestra esquemáticamente la magnitud y velocidad de la variación de la frecuencia crítica de apantallamiento ( $f_oE_s$ ), proporcional a la densidad electrónica, de algunos de los casos de capas  $E_s$  analizados en este trabajo.

La Figura 2 muestra, para algunos de los días analizados, la comparación del valor predicho para la frecuencia  $f_oE_s$  (Giraldez, 1979) con los resultados experimentales observados.

La Figura 2 muestra claramente que existe una perturbación intensa de la densidad electrónica, y que dicha perturbación posee un carácter ondulatorio.

#### DISCUSION

El mecanismo de formación de las capas  $E_s$  en latitudes medias parece ser, según las evidencias experimentales y predicciones teóricas, el de trampa de iones de bajo coeficiente de recombinación debido a la redistribución vertical del plasma provocada por el sistema de vientos neutros horizontales, el campo magnético terrestre y campos eléctricos locales. Whitehead (1970), Giraldez (1979).

La teoría de ondas gravitatorias, Hines (1950), Francis (1975), predice el comportamiento aproximado de la ionosfera frente a la incidencia de una perturbación (viento neutro horizontal). La perturbación mencionada da lugar a la generación de ondas acústicas y gravitatorias, con vectores de propagación que dependen de los parámetros locales y variables de estado del plasma ionosférico, Lindzen (1974). La comparación de la frecuencia característica del fenómeno observado en Buenos Aires, con los resultados teóricos y predicciones muestra un buen acuerdo, como se observa en la Figura 3, donde se estima que la longitud de onda horizontal del

movimiento es de aproximadamente entre 100 y 150km, ya que en la zona de la ionosfera considerada en el presente trabajo, la estimación teórica indica que la longitud de onda vertical es inferior al 10% de la correspondiente longitud de onda horizontal, y que además la condición necesaria de propagación de la perturbación es que su longitud de onda vertical no sea superior a la altura de escala correspondiente a la zona considerada. Debido a que en la región E la altura de escala es de aproximadamente 10-15km, se adopta como límite del espectro horizontal 130km.

#### CONCLUSIONES

Se observa que la región E de la ionosfera es afectada por las ondas gravitatorias generadas por incrementos súbitos en las fuentes de energía que gobiernan la dinámica ionosférica.

Los resultados indican que la capa E Normal no responde en forma apreciable a éstos efectos, pero que las capas Es son muy sensibles al pasaje de ondas gravitatorias en la región, con parámetros de propagación similares a los estimados teóricamente para la región.

Agradecimientos: El autor agradece la inestimable colaboración de la Sra. I. Lama, y Srtas. L. Puig y M. C. Pietronave en la reducción de datos y realización de cálculos correspondientes.

## BIBLIOGRAFIA

- Axford W.I. (1961) "Note on a mechanism for the vertical transport of ionization in the ionosphere" *Cann. J. Phys.* 39, 1393-1398.
- Axford W.I. (1963) "The formation and vertical movement of dense ionized layers in the ionosphere due to vertical wind-shear" *J. Geophys. Res.* 58, 769-779.
- Chimonas G. & Axford W.I. (1968) "Vertical movement of temperate zone Sporadic-E layers" *J. Geophys. Res.* 73, 111-117.
- Chiu Y.T. & Ching B. K. (1978) "The response of atmospheric and lower ionospheric layer structures to gravity waves" *Geophys. Res. Letters* 5, 539-542.
- Evans J.V. (1978) "Incoherent Scatter contributions to studies of the dynamics of the lower thermosphere" *Rev. Geophys. Space Phys.* 16, 195-216.
- Francis S.H. (1975) "Global propagation of atmospheric gravity waves. A Review" *J. Atmos. Terr. Phys.* 37, 1011-1054.
- Giraldez A.E. (1979) "Daytime Sporadic-E blanketing frequency prediction" *Proc. Solar Terr. Predictions, USA 1979, Vol. IV.*
- Hines C.O. (1960) "Internal atmospheric gravity waves at ionospheric heights" *Can. J. Phys.* 38, 1441-1481.
- Lindzen R.S. (1974) "Tides and internal gravity waves in the atmosphere" pp21-87, editado en: *Structure and Dyn. of the Upper Atmos.* Elsevier Sci. Publ. Co., editor: F. Verniani.
- McLeod (1966) "Sporadic-E theory: collision-geomagnetic equili-

- brium" J. Atmos. Sci. 23, 96-106.
- Miller K.L. & Smith L.G. (1975) "Horizontal structure of midlatitude Sporadic-E layers observed by incoherent scatter radar " R. Sci. 10, 271-276.
- Miller K.L. & Smith L.G. (1976) "Midlatitude Sporadic-E layers" Aeronomy Report N°76 - Univ. of Illinois.
- Miller K.L. & Smith L.G. (1978) "Incoherent Scatter radar observations of irregular structure in Mid-Latitude Sporadic-E layers" J. Geophys. Res. 83, 3761-3775.
- Richmond.A.D. (1978) "Gravity Wave Generation, Propagation, and Dissipation in the Thermosphere" J. Geophys. Research, 83, A9, 4131-4145.
- Testud J. (1970) "Gravity waves generated during magnetic substorms" J. Atmos. Terr. Phys. 32, 1793-1805.
- Whitehead J.D. (1961) "The formation of the Sporadic-E layer in the temperate zones" J. Atmos. Terr. Phys. 20, 49-58.
- Whitehead J.D. (1970) "Production and Prediction of Sporadic-E" Rev. Geophys. Space Phys. 8, 65-144.

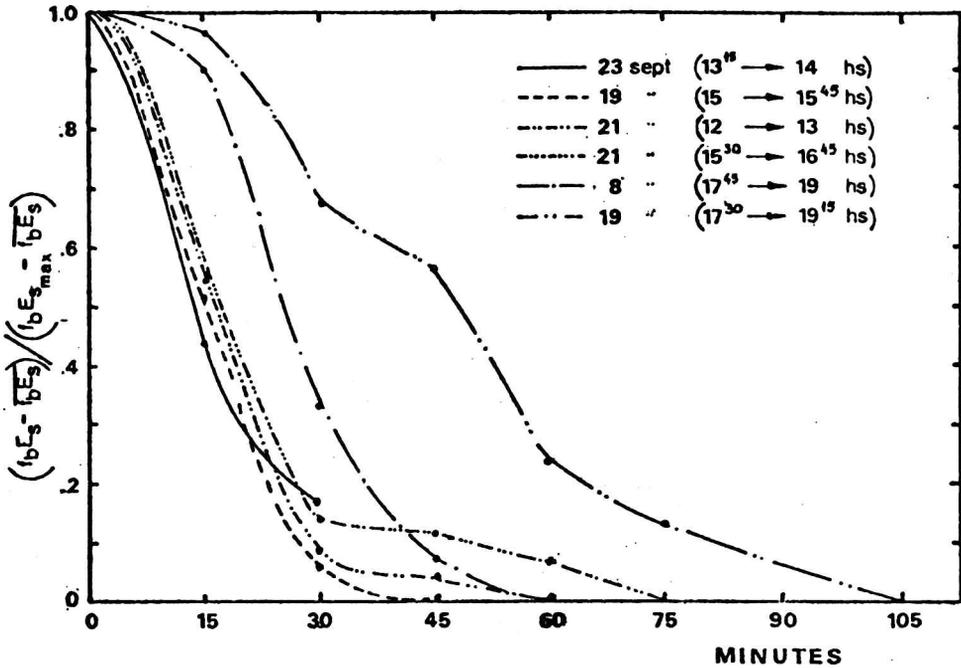


Figura 1. Variación temporal normalizada de la frecuencia de apantallamiento (proporcional a la densidad electrónica) para algunos de los casos más notables observados.

$\bar{f}_{bEs}$  = valor de  $f_{bEs}$  antes del comienzo de la perturbación.

$f_{bEs_{max}}$  = valor máximo de  $f_{bEs}$  alcanzado durante la perturbación.

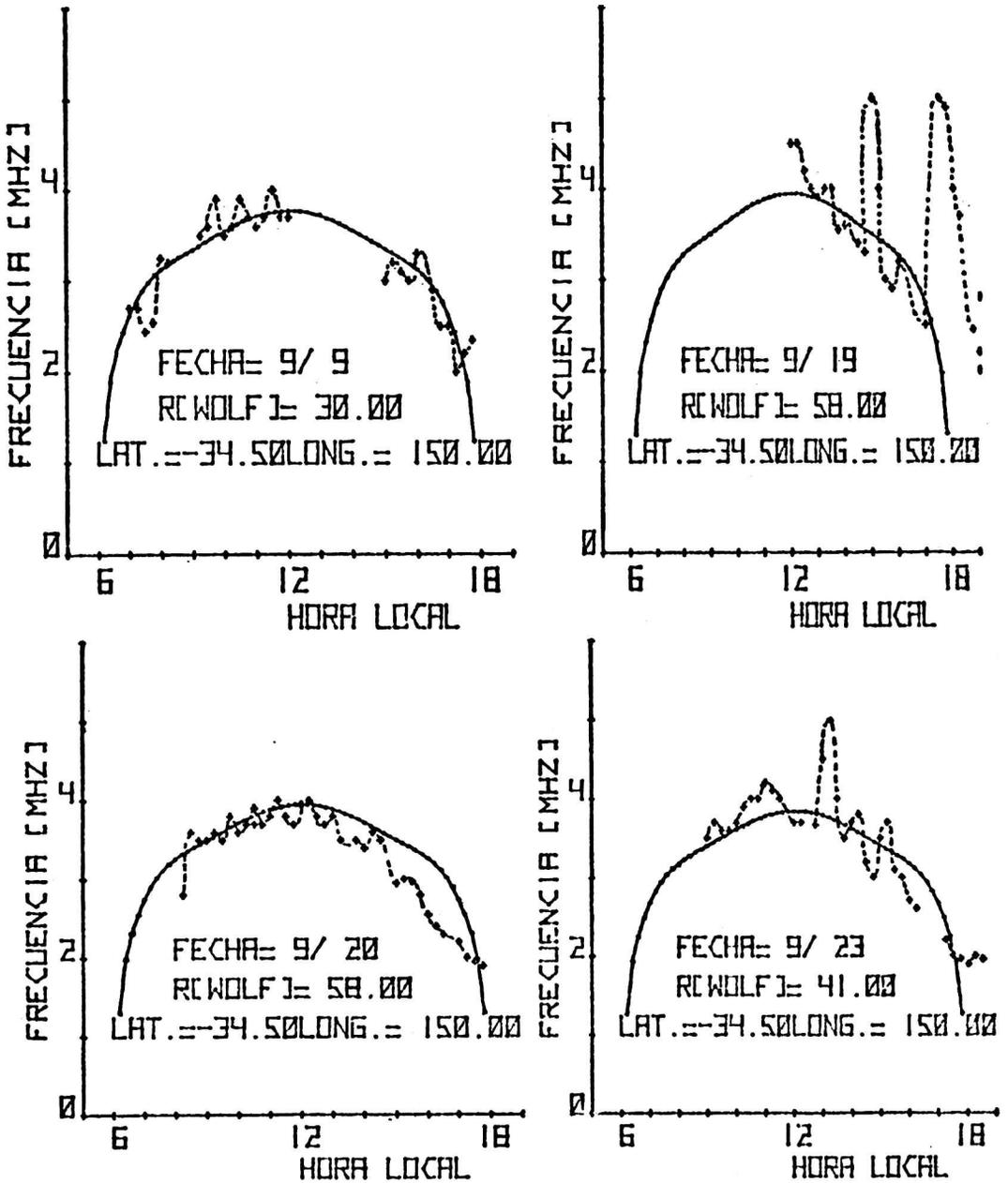


Figura 2. (a, b, c, d) Comparación entre la predicción de frecuencia (trazo lleno) y los valores observados (cruces).  
 FECHA = mes/día ; R = índice de actividad solar.  
 LAT., LONG. = latitud y longitud geográficas.

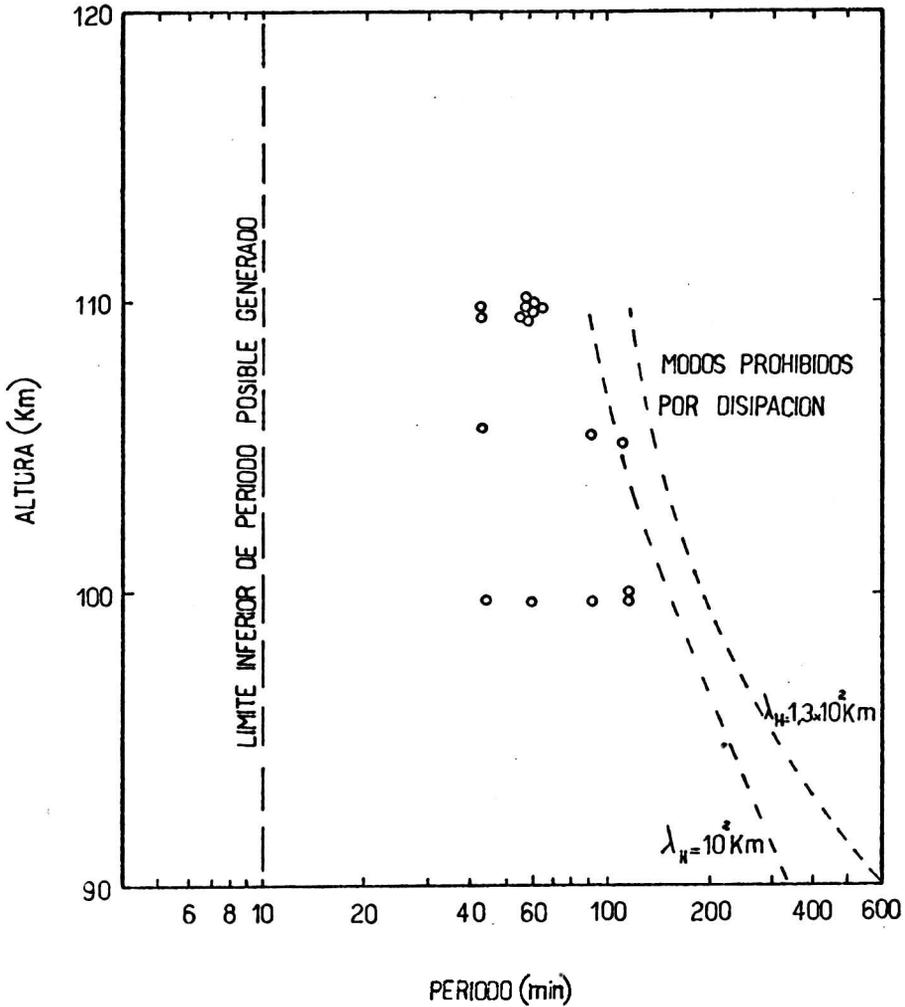


Figura 3. Diagrama indicativo del espectro permitido de ondas gravitatorias en la región E según la teoría. Zonas prohibidas a izquierda y derecha por las causas señaladas. Los límites corresponden a las líneas de trazos. Los círculos indican los períodos observados en los casos analizados en este trabajo.

$\lambda_H$  = longitud de onda horizontal de la perturbación correspondiente a la línea de trazos más cercana.

INDICE DE AUTORES

	Página
CAIMI, Emilio A. (de GUICHANDUT M.E., QUINTEROS de MENZIEZ C.Y. y ...): Estudio por métodos indirectos de la relación reflectividad-cantidad de lluvia para Buenos Aires.	105
CEJAS, Rogelio (de MANZANO J.R., LASCANO J.V., TOLEDO B.P., KURBAN L., GONZALEZ M.M. de, ... y PERELLO R.): Evidencia de la presencia de la garganta de densidad electrónica en los registros de los sondadores de la red sudamericana.	53
DI LORENZO, Norberto L. (de QUINTEROS de MENZIEZ C.Y. y ...): Estudio del índice de refracción atmosférica en la República Argentina.	93
DUHAU, Silvia (de ..., y ROMANELLI L.): La inducción electromagnética en el ecuador Nigeriano.	65
DUHAU, Silvia (de ... y LOURO A.): La superrotación de la atmósfera en las proximidades del ecuador magnético.	79
GARAVILLA, Raúl (de ... y PANCETTI N.): Prospección geofísica del área de reserva N° 30 Pumahuasi, provincia de Jujuy.	131
GIRALDEZ, Alberto E.: Características de las capas E-esporádicas ecuatoriales.	157
GIRALDEZ, Alberto E. (de ... y LAMA I.): Perturbaciones ionosféricas durante setiembre 1977.	165
GIRALDEZ, Alberto E.: Perturbaciones ionosféricas viajeras (PIV) debidas a tormentas solares.	195
GONZALEZ, Marta M. de (de MANZANO J.R., LASCANO J.V., TOLEDO B.P., KURBAN L., ..., CEJAS R. y PERELLO R.): Evidencia de la presencia de la garganta de densidad electrónica en los registros de los sondadores de la red sudamericana.	53
GRIMOLIZI, Oton M.L.: Contenido electrónico ionosférico a partir de registros de rotaciones Faraday de señales del satélite Intasat sobre Tucumán.	117
GUICHANDUT, María E. (de ..., QUINTEROS de MENZIEZ C.Y. y CAIMI E.A.): Estudio por métodos indirectos de la relación reflectividad-cantidad de lluvia para Buenos Aires.	105
KURBAN, Leila (de MANZANO J.R., LASCANO J.V., TOLEDO B.P. ..., GONZALEZ M.M. de, CEJAS R. y PERELLO R.): Evidencia de la presencia de la garganta de densidad electrónica en los registros de los sondadores de la red sudamericana.	53
LAMA, Inés (de GIRALDEZ A.E. y ...): Perturbaciones ionosféricas durante setiembre 1977.	165
LASCANO, Jorge V. (de MANZANO J.R., ..., TOLEDO B.P., KURBAN L., GONZALEZ M.M. de, CEJAS R. y PERELLO R.): Evidencia de la presencia de la garganta de densidad electrónica en los registros de los sondadores de la red sudamericana.	53
LOURO, Alfredo (de DUHAU S. y ...): La superrotación de la atmósfera en las proximidades del ecuador magnético.	79
MALAKA, Ingebor (de ... y NUÑEZ S.): Aspectos sinópticos de la sequía que afectó a la República Argentina en el año 1962.	1
MANZANO, José R. (de ..., LASCANO J.V., TOLEDO B.P., KURBAN L., GONZALEZ M.M. de, CEJAS R. y PERELLO R.): Evidencia de la presencia de la garganta de densidad electrónica en los registros de los sondadores de la red sudamericana.	53
MAZZEO, Nicolás A.: Aplicación y verificación de un modelo de difusión-depósito de contaminantes en la atmósfera de la ciudad de La Plata (Prov. Buenos Aires).	181
NUÑEZ, Silvia (de MALAKA I. y ...): Aspectos sinópticos de la sequía que afectó a la República Argentina en el año 1962.	1

	Página
PADULA PINTOS, Víctor H.: Precisión comparada entre distintos métodos de evaluación de características eléctricas de suelos.	23
PADULA PINTOS, Víctor H.: Relación entre las conductividades efectivas de suelos halladas para la zona central de la República Argentina y la radiopropagación en ondas medias.	37
PANCETTI, Norberto (de GARAVILLA R. y ...): Prospección geofísica del área de reserva N° 30 Pumahuasi, provincia de Jujuy.	131
PERELLO, Rodolfo (de MANZANO J.R., LASCANO J.V., TOLEDO B.P., KURBAN L., GONZALEZ M.M. de, CEJAS R. y ...): Evidencia de la presencia de la garganta de densidad electrónica en los registros de los <u>sondadores</u> de la red sudamericana.	53
PERES, Marcelo: Sobre la variación diurna de la absorción ionosférica.	141
QUINTEROS de MENZIEZ, Carmen Y. (de ... y DI LORENZO N.L.): Estudio del índice de refracción atmosférica en la República Argentina.	93
QUINTEROS de MENZIEZ, Carmen Y. (de GUICHANDUT M.E., ... y CAIMI E.A.): Estudio por métodos indirectos de la relación reflectividad-cantidad de lluvia para Buenos Aires.	105
ROMANELLI, Lilia (de DUHAU S. y ...): La inducción electromagnética en el ecuador Nigeriano.	65
TOLEDO, Bernardino P. (de MANZANO J.R., LASCANO J.V., ..., KURBAN L., GONZALEZ M.M. de, CEJAS R. y PERELLO R.): Evidencia de la presencia de la garganta de densidad electrónica en los registros de los <u>sondadores</u> de la red sudamericana.	53