

ESTUDIO DE LA AMPLIFICACION DEL ELECTROCHORRO ECUATORIAL

S. Duhau^{*} y A. Osella

Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Universidad de Buenos Aires

RESUMEN

Las diferencias de velocidad de fase este-oeste de irregularidades en la región E medidas con radar por otros autores indica la existencia de inhomogeneidades longitudinales en el electrochorro ecuatorial cuyas características sugieren como causa un factor geográfico. En el presente trabajo se agrega a la citada evidencia la aportada por las variaciones geomagnéticas diarias (v.g.d.) según trabajos previos de las autoras. Se analizan los sistemas de corrientes ionosféricas hallados en la zona ecuatorial peruana, nigeriana y de Africa Central a partir de la parte externa de las v.g.d. y se las correlaciona con inhomogeneidades laterales del manto superior halladas a partir de la parte interna de dichas variaciones.

Se correlaciona la intensidad de la corriente con los rasgos tectónicos básicos de América del Sur y Africa encontrándose una fuerte evidencia a favor de un factor geográfico como la causa de las inhomogeneidades del electrochorro, estando este factor geográfico vinculado a variaciones laterales en la profundidad del manto superior.

ABSTRACT

The phase velocity of E-region irregularities measured with radar by other authors indicate the existence of longitudinal inhomogeneities in the equatorial electrojet whose characteristics suggest that they are caused by a geographical factor. In the present work further evidence is added from the daily geomagnetic variations (d.g.v.) according to previous works by the authors. The ionospheric current systems in the Peruvian, Nigerian and Central African equatorial regions are analyzed using the external part of the d.g.v. and they are correlated with lateral inhomogeneities of the upper mantle found from the internal part of those variations.

The intensity of the current is correlated with the basic tectonic features of South America and Africa, and strong evidence is found in support of a geographical factor as the cause of the electrojet inhomogeneities; this geographical factor is linked to lateral variations in the depth of the upper mantle.

* Miembro del CONICET

1. INTRODUCCION

La corriente del electrochorro, deducida de las velocidades de fase de irregularidades en la región E medidas con el radar de dispersión, muestra en algunos casos, y contrariamente a lo esperado, grandes variaciones en la dirección este-oeste (Balsley 1969 Crochet y otros, 1976). Como una de las causas más probables de este fenómeno, Balsley (1969) propuso la influencia de factores geográficos.

Perfiles norte-sur de la corriente integrada en el electrochorro han sido obtenidos recientemente, a partir del análisis de la parte externa de las variaciones geomagnéticas diarias (v.g.d.), por Duhau y Osella (1982, 1983 a y b) y Osella y Duhau (1983). Estos perfiles aportan evidencias adicionales acerca del fenómeno señalado por Balsley (1969), puesto que corresponden a zonas próximas a las que se hallan ubicados los radares y para ellos se ha estudiado también la parte interna de las v.g.d. lo cual da información acerca de la estructura de conductividad de la tierra.

Por lo tanto, en el presente trabajo se sintetizan y discuten tanto los resultados de radar como los obtenidos de las v.g.d. y luego se los correlaciona con un mapa tectónico simple de Africa y América Central, que son las zonas donde se han obtenido ambos tipos de datos.

2. LA VELOCIDAD DE FASE DE IRREGULARIDADES EN LA REGION E.

La velocidad de fase, V_f , de las irregularidades se deduce de la frecuencia Doppler de los ecos de radar mediante un análisis espectral de potencia. La velocidad de los electrones V_e , puede obtenerse de la V_f de las inestabilidades de campo normal mediante la relación (Rogister y D'Angelo, 1970):

$$V_e = V_f \left(1 + \frac{v_e v_i}{\Omega_e \Omega_i} \right) \quad (1)$$

donde v_e , v_i y Ω_e , Ω_i son las frecuencias de colisión y de ciclotrón de los electrones e iones respectivamente.

La V_f obtenida por el radar corresponde a un promedio en alturas, a lo largo de una distancia de aproximadamente 5 km alrededor del máximo de corriente del electrochorro, por lo que prácticamente es una medida de la V_f allí (Balsley, 1969).

En la región E, a esas alturas ((107±3) km) la movilidad de los iones es mucho menor que la de los electrones (ver p.e. Rishbeth y Garriott, 1969) de manera que la densidad de corriente, \vec{j} , vale:

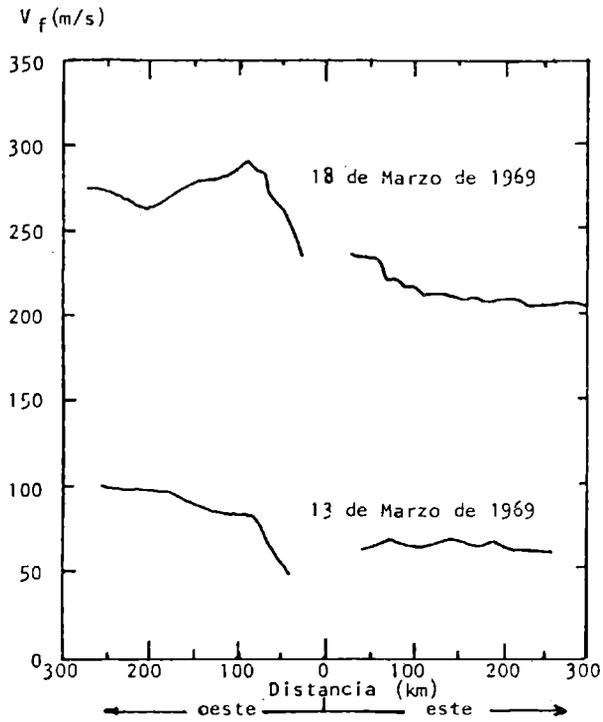


FIGURA 1

La velocidad de deriva horizontal de los electrones, V_e , obtenida por Balsley (1969) en el radar de Jicamarca (J), en función de la distancia al observatorio

$$\vec{j} = e n_e \vec{V}_e \quad (2)$$

donde e es la carga del electrón y n_e es la densidad numérica de los electrones.

Nótese que según (1) y (2), j resulta proporcional a V_f siempre y cuando n_e se mantenga constante. Como en la región E existe equilibrio físico-químico durante las horas diurnas, es muy probable que el fenómeno que se estudia en el presente trabajo, cuyo origen es dinámico, no afecte esta variable de forma que, para el mismo, sea efectivamente V_f una medida de j .

Durante las horas cercanas al mediodía la intensidad de la corriente del electrochorro debería ser uniforme en la dirección este-oeste, sin embargo Balsley (1959) observó que la V_f medida desde Jicamarca, Perú (J), varía bruscamente con la dirección como se muestra en la figura 1

La misma experiencia fué hecha en Africa en dos estaciones, una situada en el centro de ese continente, Sarh-Fort-Archambault, (S), (Hanuise y Crochet, 1975) y otra en su costa este, Arta-Dijibuti (A), (Crochet y otros, 1976). La ubicación de estas estaciones puede observarse en la figura 2. En estos casos se encontró que el electrochorro es uniforme en la dirección este-oeste alrededor de S pero que una variación en su intensidad en esa dirección aún más notable que la hallada en J, existe alrededor de A.

El contraste entre el comportamiento de V_f en S y A, permitió a Crochet y otros (1976) concluir que se debe descartar el proceso de inestabilidad en sí mismo como posible causa del fenómeno de asimetría este-oeste en el electrochorro. Este hecho y diversas consideraciones de índole morfológico permitieron a estos autores concluir además que la asimetría encontrada se debe muy probablemente a un efecto de inducción no debida a la presencia de una costa oceánica sino a la proximidad de la plataforma continental.

En la figura 2 se muestra un mapa tectónico simple de Africa y Sudamérica en el cual se ha indicado la posición de las estaciones de radar y del ecuador magnético. Nótese que S está sobre el escudo continental mientras que A y J están junto a un plegamiento montañoso terciario orientado mayormente en la dirección Norte-sur.

3. LAS VARIACIONES GEOMAGNETICAS DIARIAS EN EL ECUADOR MAGNETICO

En la ionósfera ecuatorial la corriente circula casi exclusivamente en la dirección este-oeste presentando su intensidad una drástica variación en la dirección norte-sur. Ello hace que las variaciones geomagnéticas diarias (v.g.d.) en esa zona deban ser estudiadas en cadenas de estaciones lo más alineados a esa dirección. En la figura 2 se muestran las cadenas utilizadas hasta el presente

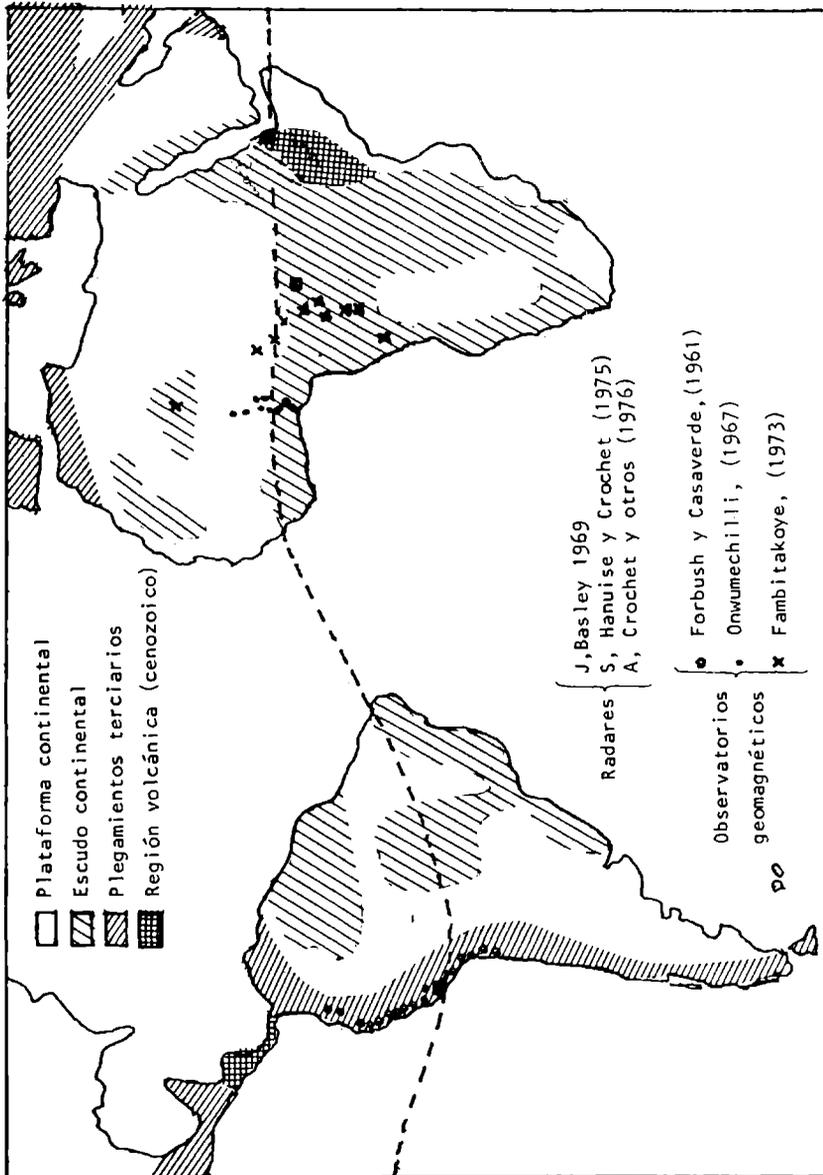


FIGURA 2

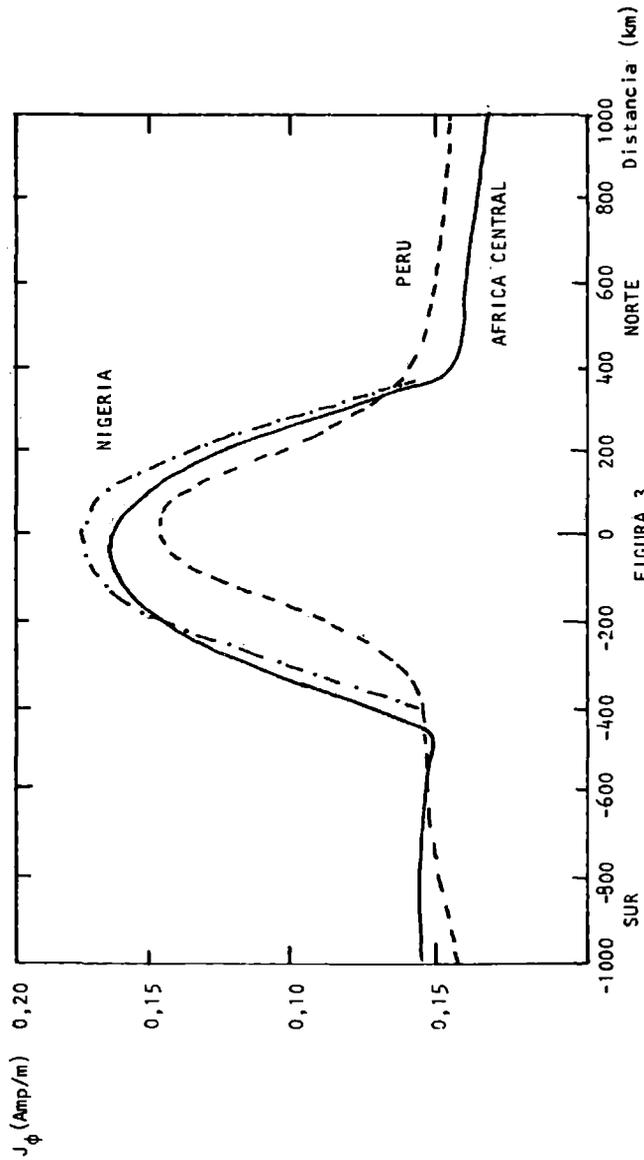


FIGURA 3

La corriente integrada en el electrochorro ecuatorial, J_ϕ , obtenida a partir de las v.g.d. por Duhau y Osella (1982, 1983b, 1983c) en función de la distancia al ecuador magnético.

por Forbush y Casaverde (1961) en Perú, Onwumechilli (1967) en Nigeria y Fambitakoye (1973) en Africa Central.

Las v.g.d. son originadas por corrientes ionosféricas que, a su vez, inducen corrientes en tierra por lo que para interpretarlas es necesario separar sus componentes en una parte de origen externo, de la cual pueden inferirse algunos parámetros del sistema de corrientes ionosférico, y otra de origen interno, de la cual puede inferirse la conductividad terrestre.

Lo que puede obtenerse de la parte externa de las v.g.d. es la densidad de corriente integrada en la región E, pero como ésta se obtiene a partir del campo magnético externo, no se pueden detectar detalles en la variación norte-sur en esa densidad en una escala menor que los 100 km (ver p.e. Duhau y Romanelli, 1979), es decir, se detectarán asimetrías en esa densidad que tenga una escala mayor que esa. Sin embargo, tienen la ventaja de que, como, a partir de la parte interna, se conocen simultáneamente la estructura lateral de la conductividad terrestre (Osella y Duhau, 1983; Duhau y Osella, 1983b; Osella, 1983) su medición permite verificar la hipótesis de Balsley (1959) sobre el origen, en una asimetría en la conductividad terrestre, de las asimetrías en la densidad de corriente externa.

Duhau y Osella (1982) revisaron los métodos de separación de las v.g.d. en su parte de origen externo e interno y elaboraron una que permite separarlas sin hacer ninguna hipótesis previa sobre la magnitud de la parte inducida, lo cual hace el método apto para los fines del presente trabajo. Luego lo aplicaron en la zona de Perú (Duhau y Osella, 1983b; Osella, 1983) y en la zona de Nigeria y Africa Central (Duhau y Osella, 1983a y 1983c).

La densidad de corriente integrada en función de la latitud obtenida en esos trabajos para las tres cadenas geomagnéticas mencionadas, se muestra en la figura 3. Nótese que existe una asimetría notable en la dirección norte-sur en Africa Central en contraste con una distribución simétrica en la zona de Perú.

En cuanto a la distribución de la conductividad terrestre se encontró una discontinuidad transversal (norte-sur) en la profundidad de la zona no conductora del manto superior en las tres zonas, como se resume en la Tabla 1.

Tabla 1

ZONA	Profundidad de la capa no conductora (km)	
	Norte del ecuador magnético	Sur del ecuador magnético
Perú	450	150
Africa Central	500	más de 1000
Nigeria	500	?

La profundidad en la zona sur de la cadena Nigeriana no pudo determinarse debido por un lado a la pequeñez del intervalo latitudinal cubierto por esta cadena (ver figura 2) y por otro a que allí el resultado indica la existencia de una discontinuidad que se extiende del ecuador magnético hacia el sur; dicha discontinuidad podría estar asociada a la transición tectónica entre la plataforma continental al Norte y el escudo continental al sur.

Obsérvese que, de ser cierto esto como la ubicación de la cadena de África Central presenta la misma correlación tectónica, la profundidad de la capa no conductora del manto superior debería presentar allí la misma características que en Nigeria. Esto se ve confirmado puesto que se encuentra que la profundidad es la misma al norte y que aumenta rápidamente hacia el sur llegando a duplicarse.

Un estudio más detallado de las discontinuidades de la profundidad tanto en Perú como en África Central fué hecho por Osella (1983) y Osella y Duhau (1983), encontrándose que en Perú ésta parece estar localizada longitudinalmente mientras que en África Central parece extenderse ampliamente en esa dirección. Observando el mapa tectónico de la figura 2, se ve que esto es coherente con el hecho de que la discontinuidad en Perú está asociada al plegamiento terciario Andino que es una estrecha franja orientada en la dirección Norte-sur y en África Central está asociada, como dijimos, a la transición plataforma-escudo continental, estando orientado el borde de esta transición básicamente en la dirección este-oeste, y abarcando cada una de las zonas adyacentes una buena porción del continente Africano.

4. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

En África Central, donde la cadena geomagnética utilizada está orientada normalmente con respecto a la discontinuidad tectónica, la corriente ionosférica presenta una distribución latitudinal de la intensidad claramente asimétrica, la posición de su máximo se halla desplazada hacia el sur del ecuador magnético y la intensidad es mayor al sur del mismo. En Perú donde la cadena está alineada con la dirección de la discontinuidad la distribución latitudinal de la corriente es notablemente simétrica.

Los resultados obtenidos con radar a partir de la medición de V_f son explicables a partir de la presencia de las mismas discontinuidades. Recuérdese que lo que se observa en este caso son perfiles longitudinales de la corriente ionosférica.

En Jicamarca, Perú, la corriente es más intensa al oeste, sobre el océano, que al este, sobre la cordillera de los Andes (Balsley, 1969).

En África Central, Sarh-Fort-Archamauel, la intensidad de la corriente es homogénea sobre el escudo continental (Hanuise y Crochet, 1977). Y, finalmente en la estación Arta Djibuti, ubicada en la costa este de África existe una variación lon-

gitudinal de la intensidad más fuerte que en Jicamarca (Crochet y otros, 1976), asociada con una doble transición tectónica: de este a oeste se atraviesa la plataforma continental, una estrecha zona volcánica (cenozoico) y el escudo continental, sucediendo al igual que en la cadena geomagnética de África Central, que la mayor intensidad de corriente está asociada a la presencia del escudo continental.

5. CONCLUSIONES

Se encontró que las discontinuidades en los perfiles de la corriente ionosférica tanto latitudinales, obtenidos a partir de las variaciones geomagnéticas diarias, como longitudinales, obtenidos a partir de la velocidad de fase, están correlacionadas unívocamente con los rasgos tectónicos de cada zona. Se encontró también que la presencia de discontinuidades en la profundidad de la zona conductora del manto superior terrestre no siempre parece estar asociada a transiciones tectónicas.

En resumen se puede concluir que la corriente ionosférica se ve afectada por la presencia de discontinuidades en la conductividad de la corteza terrestre pero no se manifiesta una unívoca correlación con discontinuidades a profundidades de la conductosfera.

BIBLIOGRAFIA

- Balsley, B.B., 1969: Measurement of electron drift velocities in the night time equatorial electrojet; *J. Atmos. Terr. Phys.*, 31 (3), 475.
- Crochet, M. Poman, C. y Hanuise, C., 1976: Radar Profiles of the equatorial electrojet; *Geophys. Res. Letters*, 3 (11), 674.
- Duhau, S. y Osella, A.M., 1982: A correlation between measured E-region current and geomagnetic daily variation at equatorial latitudes; *J. Geomag. Geoelect.*, 34, 213.
- Duhau, S. y Osella, A.M., 1983a: Depth of the non-conducting layer at the Nigerian dip equator; *J. Geophys. Res.* 88(A7), 5523.
- Duhau, S. y Osella, A.M., 1983b: Estudio de la anomalía en la zona ecuatorial peruana. I. Análisis del sistema de corrientes ionosféricas; *Geoacta*, XII(1).
- Duhau, S. y Osella, A.M., 1983c: Determinación de la profundidad de la capa no conductora en Nigeria y en Africa Central; *Geoacta* (enviado para su publicación).
- Duhau, S. y Romanelli, L., 1979: Electromagnetic induction at the South American geomagnetic Equator as determined from measured ionospheric currents; *J. Geophys. Res.*, 84(A5), 1849.
- Fambitakoye, O. 1973: Effects induits par l'electrojet equatorial au center de l'Afrique; *Ann. Geophys.*, 29, 149.
- Forbush, S. y Casaverde, M., 1961: Equatorial electrojet in Peru. Carnegie Inst. Washington; Publ., 620.
- Hanuise, C. y Crochet, M., 1977: Oblique HF radar studies of Plasma instabilities in the Equatorial electrojet in Africa; *J. Atmos. Terr. Phys.* (citado por Crochet y otros, 1976).
- Onwumechilli, A., 1967: Physics of geomagnetic phenomena; Editado por Matsushita y Campbell, Vol. 1, pág. 426.
- Osella, A.M., 1983: Estudios de la anomalía en la conductividad terrestre en la zona ecuatorial peruana. II. Profundidad de la capa no conductora, *Geoacta* XII(1)
- Osella, A.M. y Duhau, S. 1983: The effect of the depth of the non-conducting layer on the induced magnetic field at the Peruvian dip equator; *J. Geomag. Geoelectr.* 35, 245.
- Rishbeth, M. y Garriott, O.K., 1969: Introduction to ionospheric Physics; Academic Press, N.Y., pp. 89.
- Rogister, A. y D'Angelo, N. 1970: Type II irregularities in the equatorial electrojet; *J. Geophys. Res.*, 75(19), 3879.