

COMPORTAMIENTO GEOMAGNETICO E IONOSFERICO DURANTE LAS SUBTORMENTAS
DEL DIA 4 DE ENERO DE 1975. #

M. M. Zossi de Artigas* y J. R. Manzano**

Laboratorio de Ionósfera - Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología - Universidad Nacional de Tucumán - Tucumán - Argentina.

RESUMEN

La disponibilidad de un número significativo de magnetómetros cubriendo los anillos aurorales norte y sur, y cadenas longitudinales nos permite un amplio análisis del comportamiento del campo geomagnético durante las subtormentas producidas el día 4 de enero de 1975. Los resultados confirman los modelos que establecen que las mismas son generadas en la cola nocturna magnética terrestre por ruptura del sistema de corriente que atraviesa la lengua de plasma desde alba a crepúsculo y aparición de corrientes de Birkeland alineadas con las líneas magnéticas de campo con pie u origen en las zonas aurorales. Se observa también que el proceso no se propaga a bajas latitudes.

El análisis del comportamiento ionosférico muestra contradicciones con algunas ideas presentes.

ABSTRACT

The abundance of information from magnetometers covering north and south auroral zones and meridional chains, makes it possible to analyze the geomagnetic field behaviour during January, the 4th, 1975, substorms. The results confirm previous models establishing that the substorms are generated at the nocturnal magnetic tail, as a consequence of the break of the current system crossing the plasmashet from dawn to dusk and to the presence of the field - aligned Birkeland currents with origin or foot at the auroral zones. Propagation of the process to lower latitudes has not been observed.

The ionospheric behaviour shows contradictions with some present ideas.

Trabajo parcialmente financiado por el CONICET a través del PRO NARP.

* Becaria del CONICET.

** Miembro de la Carrera de Investigador del CONICET.

INTRODUCCION

Una subtormenta magnetosférica es un proceso transitorio iniciado en el lado nocturno de la Tierra, en el cual una cantidad significativa de energía, derivada de la interacción viento solar-magnetósfera, es depositada en la magnetósfera y en la ionósfera auroral (Rostoker y otros, 1980).

En el caso más simple una subtormenta parece tener tres fases: una fase de crecimiento, una de expansión y una tercera de recuperación. En la primera, la energía que proviene de la dínamo viento solar-magnetósfera es almacenada en la cola magnética, siendo luego explosivamente liberada en la segunda fase. En la fase de recuperación, la magnetósfera se relaja hacia un estado tranquilo.

Un aumento en el valor del parámetro energético, \mathcal{E} , identificado como la potencia almacenada en el viento solar, indica actividad de subtormenta (Akasófu, 1981-c).

En este trabajo se hace un análisis del comportamiento magnético de estaciones aurorales norte y sur y de cadenas longitudinales, durante las subtormentas del día 4 de enero de 1975. Se realizan cálculos de $\mathcal{E}(\lambda)$, y de $w_T(t)$, el parámetro del viento solar y la energía total disipada en la magnetósfera, respectivamente. Se analiza, además, el comportamiento de la ionósfera para el mismo período mediante registros de redes longitudinales y auroral sur de sondadores.

PRESENTACION Y ANALISIS DE DATOS MAGNETICOS

Para el análisis se usan datos magnéticos de estaciones aurorales norte y sur, además de dos redes longitudinales: la americana y la australo asiática, estas dos últimas con el fin de ver la propagación de la subtormenta hacia bajas latitudes (TABLA 1). Se toma el día 3/1/75, como días de control, como buena aproximación ya que se trata de un día magnéticamente tranquilo ($\sum K_p = 15$).

Los valores horarios de la componente H (nT) medidos en las estaciones de ambas redes aurorales, son representados en las figuras 1 y 2 respectivamente. De ellas, se puede observar que el comportamiento es similar para ambas redes. Así, hacia el mediodía universal del día 4/1/75, el electrochorro auroral hacia el oeste crece en las estaciones de Dixon, Cape Chelyuskin, Tixie Bay, Barrow y College, estaciones que se encuentran en los sectores crepúsculo-medianoche y medianoche-alba. Hacia las 15.00 TU, Leirvogur, Tromso y Sodankyla,

en el lado diurno, presentan bahías positivas, indicativas de un electrochorro hacia el este. De la figura 5, puede concluirse que a estas horas los electrochorros aurorales crecen hacia el sur del óvalo.

Por otro lado, si se observan las estaciones de la red auroral sur, hacia las 12.00 TU, Macquarie Island y Vostok presentan bahías negativas (indicando electrochorros hacia el oeste), que en el caso de la primera llega a 500 nT, y para la última se está superponiendo a su variación Sq^P . Syowa Base y Mawson, en el lado diurno, observan marcadas bahías positivas hacia esta hora, indicando un intenso electrochorro hacia el este. En Dumont D'Urville se observa también, una bahía negativa, aunque retrasada. De la figura 6, se puede indicar que el electrochorro hacia el oeste crece hacia el sur del óvalo, ó más bién, la "ola" hacia el oeste, se expande hacia el polo magnético afectando a estaciones casi polares.

La recuperación parcial observada en Macquarie Island (Hemisferio Sur), Tixie Bay, Cape Chelyuskin y Dixon (Hemisferio Norte), podría deberse al pasaje de las estaciones por la discontinuidad de Harang, o quizás a la iniciación de una nueva subtormenta. Este efecto, que se observa hacia las 20.00 TU, se manifiesta también en Syowa Base y Mawson, en forma muy significativa. El comportamiento de Islas Argentinas y Sanae se puede explicar a partir de la figura 6, ya que en cualquier circunstancia se encuentran lejos del óvalo auroral.

En beneficio de la longitud del trabajo no se realiza un estudio más profundo de la estructura fina en el comportamiento de H.

En las figuras 3 y 4 se grafica H para las redes meridionales americana y australo-asiática, respectivamente.

Es evidente que no se observan efectos significativos en estaciones medias y bajas latitudes de la red americana, la cual se encuentra sumergida en el lado iluminado de la Tierra. En cambio en la red australo-asiática se observa la existencia, en todas las estaciones, de una estructura irregular posiblemente indicativa de la propagación de una onda gravitatoria generada en el comienzo de la subtormenta. Estas estaciones se encuentran en el sector nocturno.

PRESENTACION Y ANALISIS DE DATOS IONOSFERICOS

Se analiza los valores de las variaciones relativas de la frecuencia crítica f_oF2 , dados por $\Delta f_oF2 / f_oF2 = (f_oF2 - \overline{f_oF2}) / \overline{f_oF2}$, con $\overline{f_oF2}$ como el

valor promedio calculado con los valores correspondientes a los días tranquilos del mes. Estos valores son volcados en las figuras 7, 8 y 9, para las redes sudamericana, auroral sur y australo-asiática, respectivamente (Tabla 2).

Se observa que a las 11.00 TU, hora de iniciación de la subtormenta en estaciones aurorales nocturnas, las estaciones americanas de latitudes medias y bajas (salvo Huancayo), que están en el sector mañana, ven un aumento de foF2. En la figura 8 se observa que, las estaciones de Georgias del Sur, Sanae y Syowa Base (lado diurno) muestran una fase positiva en un comportamiento análogo al de Islas Argentinas y Halley Bay, ya analizadas. De Mawson, también en el lado diurno y debido a la falta de datos, solo se puede decir que manifiesta una tendencia a un aumento de foF2 dos horas más tarde. Mientras que en Terre Adelie (en el sector crepúsculo-medianoche), el aumento en los valores de foF2 se produce 4 horas después.

Por otro lado, las estaciones de la red australo-asiática que están en el sector noche de altas y bajas latitudes presentan fase negativa en general, mientras que sólo algunas de latitudes medias muestran efectos positivos.

CONSIDERACIONES ENERGETICAS

El parámetro \mathcal{E} , deducido por Perreault y Akasofu (1978) ha sido identificado por Kan y otros (1980), y Akasofu (1981 a) como la potencia generada por la dínamo viento solar-magnetosfera. Este parámetro está dado por:

$$\mathcal{E}(t) = 4\pi \mu_0^{-1} l_0^2 v B^2 \sin^4(\theta/2) \quad \text{Joule/seg} \quad (1)$$

donde: μ_0 = permeabilidad magnética; $l_0 = 7 R_T$, es una longitud característica relacionada con el tamaño del frente de la magnetosfera (R_T = radio de la Tierra); v = velocidad del viento solar; B = intensidad del campo magnético interplanetario; θ = ángulo polar que forma la proyección en el plano Y-Z del campo magnético interplanetario, medido desde el eje geomagnético en dirección sur. El eje X está dirigido hacia el Sol, el eje Y en la dirección alba-crepúsculo y Z hacia el Norte magnético, en un sistema centrado en la Tierra.

Por otro lado, el flujo de energía total disipada en la magnetosfera durante subtormentas (Akasofu, 1981 a), $U_T(t)$, está dado por la suma de, la energía disipada como calentamiento joule por el e-

lectrochorro auroral, $\mu_j(t)$; la energía inyectada en el anillo de corriente, $\mu_R(t)$; y la energía transportada por las partículas aurales, $\mu_A(t)$, Así:

$$\mu_T(t) = \mu_j(t) + \mu_R(t) + \mu_A(t) \quad (2)$$

Estos términos están dados por:

$$\mu_j(t) = AE (nT) \times 10^{15} \quad (\text{erg/s}) \quad (3)$$

$$\mu_R(t) = 4,0 \times 10^{20} \times \left(\frac{\partial Dst (nT)}{\partial t} + \frac{Dst}{\tau} \right) \quad (\text{erg/s}) \quad (4)$$

$$\mu_A(t) = 1,5 \times 10^{14} \times AE (nT) \quad (\text{erg/s}) \quad (5)$$

donde AE = índice magnético auroral; Dst = índice magnético ecuatorial y τ = tiempo de vida de las partículas del anillo de corriente (= 2 hs, cuando $10^{18} \text{ erg/s} < \mathcal{E} < 10^{19} \text{ erg/s}$ según Akasofu (1981 b))

Con datos de Marianí y otros (1978), para B y v, y con los datos de AE y Dst publicados por Boulder, se calculan \mathcal{E} , μ_j , μ_R , μ_A y μ_T . Los valores se muestran a continuación:

T.U.	B(nT)	v(Km/s)	\mathcal{E} (Joule/s)	\mathcal{E} (erg/s)
00.00	12.5	660	$2.05 \cdot 10^{12}$	$2.05 \cdot 10^{19}$
03.00	12.0	670	$1.91 \cdot 10^{12}$	$1.91 \cdot 10^{19}$
06.00	9.5	700	$1.26 \cdot 10^{12}$	$1.26 \cdot 10^{19}$
09.00	9.0	715	$1.14 \cdot 10^{12}$	$1.14 \cdot 10^{19}$
12.00	7.0	732	$7.16 \cdot 10^{11}$	$7.16 \cdot 10^{18}$
15.00	7.5	715	$7.91 \cdot 10^{11}$	$7.91 \cdot 10^{18}$
18.00	7.8	708	$8.54 \cdot 10^{11}$	$8.54 \cdot 10^{18}$
21.00	7.5	700	$7.79 \cdot 10^{11}$	$7.79 \cdot 10^{18}$
00.00	7.0	700	$6.78 \cdot 10^{11}$	$6.78 \cdot 10^{18}$

T.U.	AE(nT)	Dst(nT)	$\mu_j(t)$ (erg/s)	$\mu_p(t)$ (erg/s)	$\mu_d(t)$ (erg/s)	$\mu_r(t)$ (erg/s)
00.00	205	22	$2.05 \cdot 10^{17}$	$6.40 \cdot 10^{17}$	$3.07 \cdot 10^{16}$	$8.75 \cdot 10^{17}$
03.00	185	13	$1.85 \cdot 10^{17}$	$5.54 \cdot 10^{17}$	$2.77 \cdot 10^{16}$	$7.67 \cdot 10^{17}$
06.00	329	9	$3.29 \cdot 10^{17}$	$2.20 \cdot 10^{17}$	$4.93 \cdot 10^{16}$	$5.98 \cdot 10^{17}$
09.00	271	6	$2.71 \cdot 10^{17}$	0	$4.06 \cdot 10^{16}$	$3.11 \cdot 10^{17}$
12.00	830	8	$8.30 \cdot 10^{17}$	$7.20 \cdot 10^{17}$	$1.24 \cdot 10^{17}$	$1.67 \cdot 10^{18}$
15.00	1200	- 6	$1.20 \cdot 10^{18}$	$1.64 \cdot 10^{18}$	$1.80 \cdot 10^{17}$	$3.02 \cdot 10^{18}$
18.00	417	-12	$4.17 \cdot 10^{17}$	$5.12 \cdot 10^{17}$	$6.25 \cdot 10^{16}$	$9.91 \cdot 10^{17}$
21.00	249	-12	$2.49 \cdot 10^{17}$	$8.48 \cdot 10^{17}$	$3.73 \cdot 10^{16}$	$1.13 \cdot 10^{18}$
00.00	360	-15	$3.60 \cdot 10^{17}$	$1.16 \cdot 10^{18}$	$5.40 \cdot 10^{16}$	$1.57 \cdot 10^{18}$

A partir de los magnetogramas de estaciones aurorales, de los datos de los índices AE y Dst, junto con los valores calculados de \dot{E} y de $\mu_r(t)$ se observa que, el comienzo súbito se produce alrededor de las 07.30 TU del día 4/1/75, iniciando así la fase de crecimiento que se prolonga por 3 horas, ya que hacia las 10.30 TU comienza la expansión que llega a su punto máximo a las 15.00 TU, para empezar la fase de recuperación.

DISCUSION

Hughes y Rostoker (1979) han desarrollado un modelo tridimensional de corriente para actividad magnética moderada, que luego ha sido modificado para actividad de subtormenta (Rostoker y Hughes, 1979; Rostoker, 1980). La subtormenta está caracterizada por un electrochorro hacia el oeste más intenso y más amplio en el sector atardecer y por una "ola" que viaja hacia el oeste en el borde occidental de la región perturbada por la subtormenta (Figura 10 a y b).

Por otro lado, también está presente en este modelo la discontinuidad de Harang en el sector pre-medianoche, donde se observa una marcada zona de estacionamiento de plasma y dónde los electrochorros hacia el oeste y hacia el este tienden a entrecruzarse, extendiéndose hacia la medianoche el electrochorro en dirección este, sobre el lado ecuatorial del electrochorro hacia el oeste.

A partir de lo analizado se podría concluir que el comportamiento de todas las estaciones aurorales estaría de acuerdo con el modelo de Rostoker y Hughes (1979), ya que, por un lado, las estaciones que se encuentran en el sector diurno durante el desarrollo de

las subtormentas, observan electrochorros hacia el este, que es más significativo para las que se encuentran en el sector mediodía-crepúsculo. Las estaciones del sector nocturno, presentan marcadas bahías negativas, indicativas de un electrochorro hacia el oeste. Por otro lado, el comportamiento significativo de Vostok y Dumont D'Urville, estaciones polares magnéticas, nos indicaría que la "ola" se prolonga más hacia el sur, que en el modelo de Rostoker y Hughes, llegando casi hasta el polo magnético. Sin embargo debe tenerse precaución pues en estas dos últimas estaciones se encuentra superpuesto el Sq de los vórtices del casquete polar, efecto a analizarse en otro trabajo.

La existencia de dos subtormentas, una hacia las 11.00 TU y la otra hacia las 20.00 TU, tal como lo hemos anunciado durante el análisis de los datos, podría cuestionarse cuando se observa la ubicación de las estaciones de Dixon, Cape Chelyuskin, Tixie Bay, Syowa Base y Mawson, hacia las 20.00 TU (Figuras 5 y 6), ya que estarían pasando por la zona de discontinuidad de Harang.

Además se desea agregar que haciendo una comparación de los datos magnéticos analizados de ambas redes aurorales, existe una gran similitud entre ellas.

En cuanto a los efectos ionosféricos, se observa un aumento significativo en el parámetro foF2, con el comienzo de las subtormentas en las estaciones de la red sudamericana que permanecen en el lado diurno durante el evento. Esto no estaría de acuerdo con lo enunciado por Park y Meng (1973), quienes establecen que el incremento en los valores de los parámetros se produce en estaciones de latitudes medias, pero del sector nocturno. El comportamiento mostrado por las estaciones de Brisbane y Townsville estaría, en cambio, de acuerdo con lo enunciado por estos autores. Es evidente que, en el caso de la ionósfera, la perturbación se propaga a bajas latitudes en proceso ondulatorio, que justificaría el comportamiento en la región australo-asiática pero no americana. Sería necesario analizar h_p para confirmar o no lo dicho anteriormente.

Según Akasofu (1981 c), las fases de crecimiento y de recuperación de una subtormenta magnetosférica son efectos directos de un aumento y una disminución respectivamente, de la potencia generada por la dínamo viento solar-magnetósfera, caracterizada por el parámetro \mathcal{E} (Akasofu y Chao, 1980). Según los mismos autores, la energía total disipada en la magnetósfera, $\mu_T(t)$, correlaciona muy bien con el parámetro $\mathcal{E}(t)$. Por lo tanto, el comienzo súbito, la

fase de crecimiento, la de expansión y la de recuperación de una subtormenta magnetosférica son controlados principalmente por el viento solar.

Cuando el valor de $\dot{\mathcal{E}}$ y de $\mu_T(t)$ supera los 10^{18} erg/s, según Akasofu (1981 c), se desarrolla una subtormenta magnetosférica. Por consiguiente, los valores que se han calculado nos indicarían la producción de una.

Según Akasofu (1979), existe una estrecha correlación entre el índice AE y los parámetros $\dot{\mathcal{E}}$ y μ_T , hecho que no observamos de acuerdo a nuestros cálculos. Es evidente que, a) se disipa energía en un proceso no considerado o, b) es necesario un ajuste de las ideas de Akasofu.

BIBLIOGRAFIA

- Akasofu, S-I; 1979: "Relationship between the growth of the ring current and the interplanetary quantity $\dot{\mathcal{E}}$ ", Planet. Space Sci., 27, 1039 - 1041.
- Akasofu, S-I; 1981a: "Passage of the solar current disk and major Geomagnetic Storms", Solar Physics, 71, 175 - 199.
- Akasofu, S-I; 1981b: "Prediction of development of geomagnetic storms using the solar wind-magnetosphere energy coupling function $\dot{\mathcal{E}}$ "; Planet. Space Sci., 29, 1151 - 1158.
- Akasofu, S-I; 1981c: "Magnetospheric substorms: a newly emerging model"; Planet. Space Sci., 29, 1069 - 1078.
- Akasofu, S-I y Chao J.K.; 1980: "Interplanetary shock waves and magnetospheric substorms"; Planet. Space Sci., 28, 381 - 385.
- D'Angelo N. y Goertz C.K.; 1979: "An interpretation of Akasofu's substorm parameter"; Planet. Space Sci., 27, 1015 - 1018.
- Hughes T.J. y Rostoker G.; 1979: "A comprehensive model current system for high-latitude magnetic activity - I. the steady state system"; Geophys. J.R. astr.Soc. 58, 525 - 569
- Kan J.R., Lee L.C. y Akasofu S-I; 1980: "The energy coupling function and the power generated by the solar wind-magnetosphere dynamo"; Planet. Space Sci., 28, 823 - 825.
- Mariani F, Ness N.F., Burlaga L.F., Bavasanno B. y Villante U.; 1978: "The large-scale structure of the interplanetary magnetic field between 1 and 0.3 AU during the primary mission of He-

- lios 1"; J. Geophys. Res., 83, 5161 - 5166.
- Park C.G. y Meng C-I; 1973: "Distortions of the nightside ionosphere during magnetospheric substorms"; J. Geophys. Res., 78, 3828 - 3839.
- Perreault P. y Akasofu S-I; 1978: "A study of geomagnetic storms"; Geophys. J. R. astr. Soc., 54, 547 - 573.
- Rostoker G.; 1980: "Magnetospheric and Ionospheric currents in the polar cusp and their dependence on the B_y component of the interplanetary magnetic field"; J. Geophys. Res., 85, N°A 8, 4167-4176.
- Rostoker G. y T.J. Hughes; 1979: "A comprehensive model current system for high-latitude magnetic activity - II. the substorm component"; Geophys. J.R. astr. Soc., 58, 571 - 581..
- Rostoker G.; Akasofu S-I, Foster J. Greenwald R., Kamide Y., Kawasaki K., Lui A., McPherron R.L., Russell C. T.; 1980: "Magnetospheric substorms - Definition and signature"; J. Geophys. Res., 85, 1663.

EPIGRAFES DE LAS FIGURAS

- Figura 1: Valores horarios de la componente H medidos a partir de registros magnéticos en estaciones del anillo auroral del hemisferio norte. Estas estaciones figuran en la Tabla 1.
- Figura 2: Idem Fig. 1 para estaciones del anillo auroral del hemisferio sur.
- Figura 3: Idem Fig. 1 para estaciones de la red americana.
- Figura 4: Idem Fig. 1 para estaciones de la red australo-asiática.
- Figura 5: Ubicación de las diferentes estaciones de la red auroral del hemisferio norte cuyos registros fueron usados. Localización aproximada del óvalo auroral norte para distintas horas.
- Figura 6: Ubicación de las diferentes estaciones de la red auroral del hemisferio sur cuyos registros fueron usados. Localización aproximada del óvalo auroral sur para distintas horas.
- Figura 7: Valores de $\Delta f_oF2/\overline{f_oF2}$ en función del tiempo universal (TU), para las estaciones de la red sudamericana de sondadores, que figuran en la Tabla 2.
- Figura 8: Idem Fig. 7 para estaciones de la red auroral sur de sondadores.

Figura 9: Idem Fig. 7 para estaciones de la red australo-asiática de sondadores.

Figura 10:a) Modelo de sistema tridimensional de corriente para condiciones tranquilas (de Hughes y Rostoker, 1979).

b) Modelo de sistema tridimensional de corriente para subtormenta (de Hughes y Rostoker, 1979).

TABLA 1: Lista de estaciones magnéticas

Estaciones	Lat. N Geográfica	Long. E	Lat. N Geomagnética	Long. E
<u>Red Auroral Norte</u>				
Tromso	69.7	19.0	67.1	117.1
Sodankyla	67.4	26.6	63.7	120.3
Dixon	73.5	80.4	63.0	161.7
Cape Chelyuskin	77.7	104.3	66.3	176.7
Tixie Bay	71.58	129.00	60.48	191.72
Barrow	71.3	203.2	68.6	241.5
College	64.9	212.2	64.7	257.0
Leirvogur	64.2	338.3	70.1	71.5
<u>Red Auroral Sur</u>				
Syowa Base	-69.00	39.58	-69.75	78.15
Mawson Antártica	-67.60	62.88	-73.16	103.52
Vostok	-78.45	106.87	-39.27	94.25
Dumont D'Urville	-66.67	140.02	-75.57	231.48
Macquarie Island	-54.50	158.95	-60.99	243.59
Islas Argentinas	-65.20	295.70	-53.76	3.67
Halley Bay	-75.50	333.40	-65.83	24.58
Sanae	-70.38	357.65	-63.71	44.53
<u>Red Americana</u>				
Great Whale River	55.27	282.22	66.57	348.05
Ottawa	45.40	284.40	56.79	352.13
Fredericksburg	38.20	282.63	49.54	350.42
San Juan	18.12	293.95	29.57	3.63
Paramaribo	5.82	304.78	16.33	14.93
Tatuoca	-1.20	311.48	9.51	21.25
Huancayo	-12.05	284.67	-0.64	354.27
La Quiaca	-22.10	294.40	-10.65	3.65
Pilar	-31.67	296.12	-20.25	5.07
Trelew	-43.25	294.68	-31.80	3.56
Islas Argentinas	-65.20	295.70	-53.76	3.57
<u>Red Australo - Asiática</u>				
Tixie Bay	71.58	129.00	60.48	191.72
Yakutsk	63.02	129.72	51.02	194.19
Vladivostok	43.68	132.17	32.3	197.9
Memambetsu	43.90	144.20	34.07	203.93
Kanoya	31.42	130.88	20.59	198.48
Lunping	25.00	121.17	13.71	189.92
Guam	13.58	144.87	4.04	213.35
Davao	7.08	125.58	-4.00	194.97
Port Moresby	-9.40	147.15	-18.52	218.36
Toolangi	-37.53	145.47	-46.58	221.36
Dumont D'Urville	-66.67	140.02	-75.57	231.48

TABLA 2: Lista de estaciones de ionosondas

Estaciones	Lat. N Geográfica	Long.E	Lat. N Geomagnética	Long.
<u>Red Sudamericana</u>				
Huancayo	-12.00	284.70	- 0.59	354.30
Tucumán	-26.30	294.60	-15.45	3.77
Buenos Aires	-34.50	301.50	-23.21	9.83
Puerto Argentino	-51.70	302.20	-40.42	9.48
Ushuaia	-54.30	291.70	-43.33	0.93
Islas Argentinas	-65.20	295.70	-57.76	3.76
Halley Bay	-75.50	333.40	-65.83	24.58
<u>Red Auroral Sur</u>				
Syowa Base	-69.00	39.6	-69.9	79.2
Mawson	-67.60	62.9	-73.3	104.9
Terre Adelie	-66.70	140.00	-75.60	231.50
Islas Argentinas	-65.20	295.70	-57.76	3.76
Georgias del Sur	-54.27	323.5	-44.4	27.2
Halley Bay	-75.50	333.40	-65.83	24.58
Sanae	-70.30	357.6	-63.9	45.3
<u>Red Australo Asiática</u>				
Wakkanai	-45.40	141.70	-35.33	206.45
Akita	39.70	140.10	29.53	205.87
Yokubunji	35.70	139.50	25.50	205.84
Manila	14.70	121.10	3.41	190.24
Vanimo	- 2.70	141.30	-12.53	211.57
Townsville	-19.30	146.70	-28.39	219.28
Brisbane	-27.50	152.90	-35.65	227.36
Canberra	-35.30	149.00	-43.80	224.80
Hobart	-42.90	147.30	-51.61	224.92
Terre Adelie	-66.70	140.00	-75.60	231.50

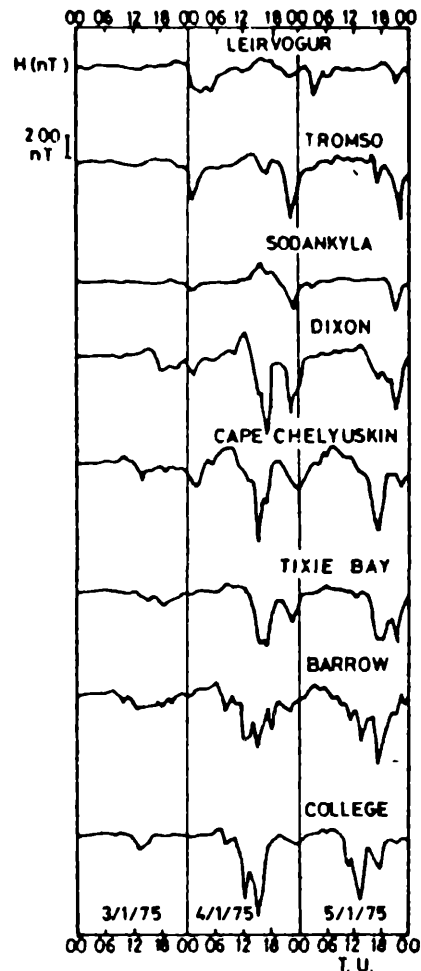


FIG. 1. RED AURORAL NORTE

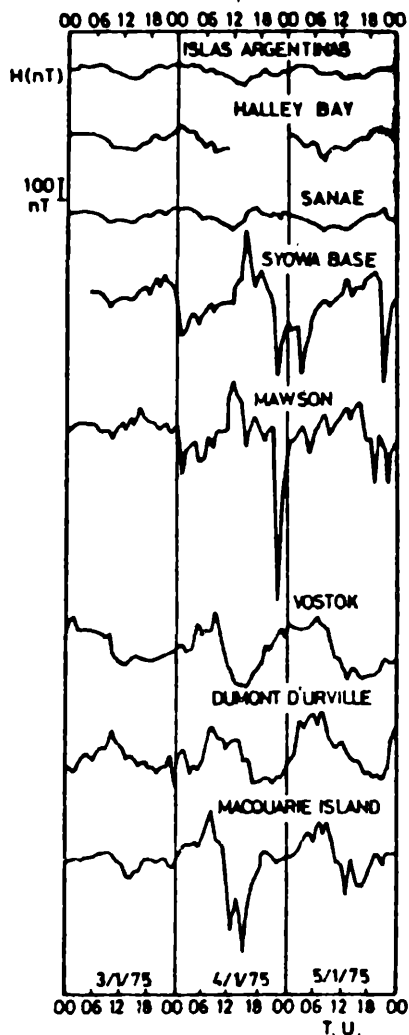


FIG. 2. RED AURORAL SUR

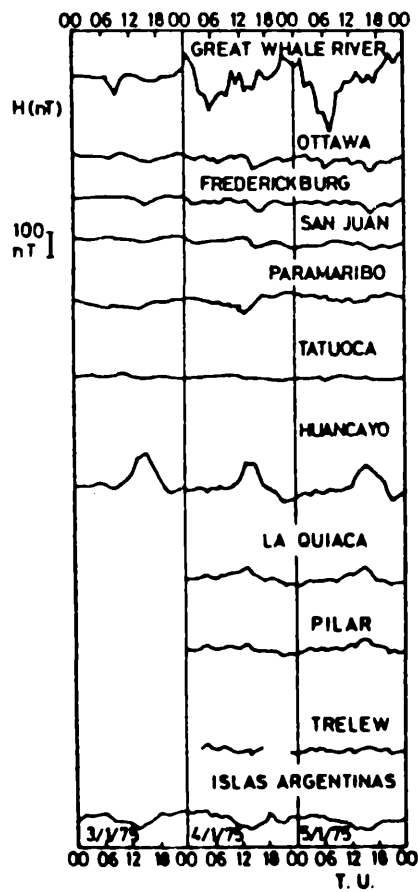


FIG. 3. RED AMERICANA

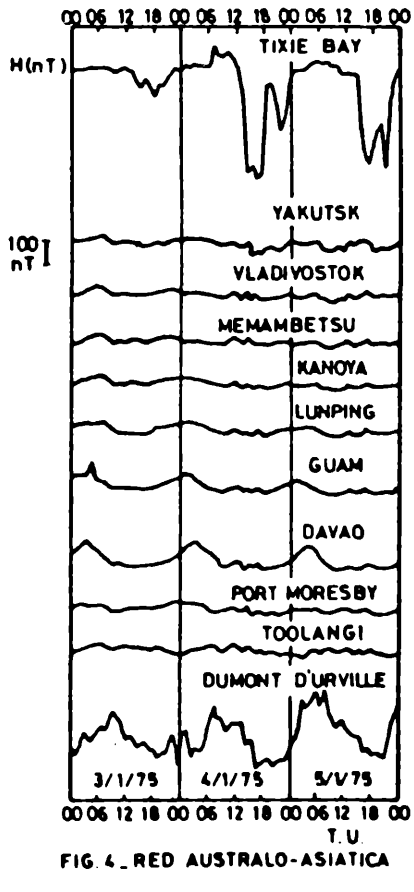


FIG. 4. RED AUSTRALO-ASIATICA

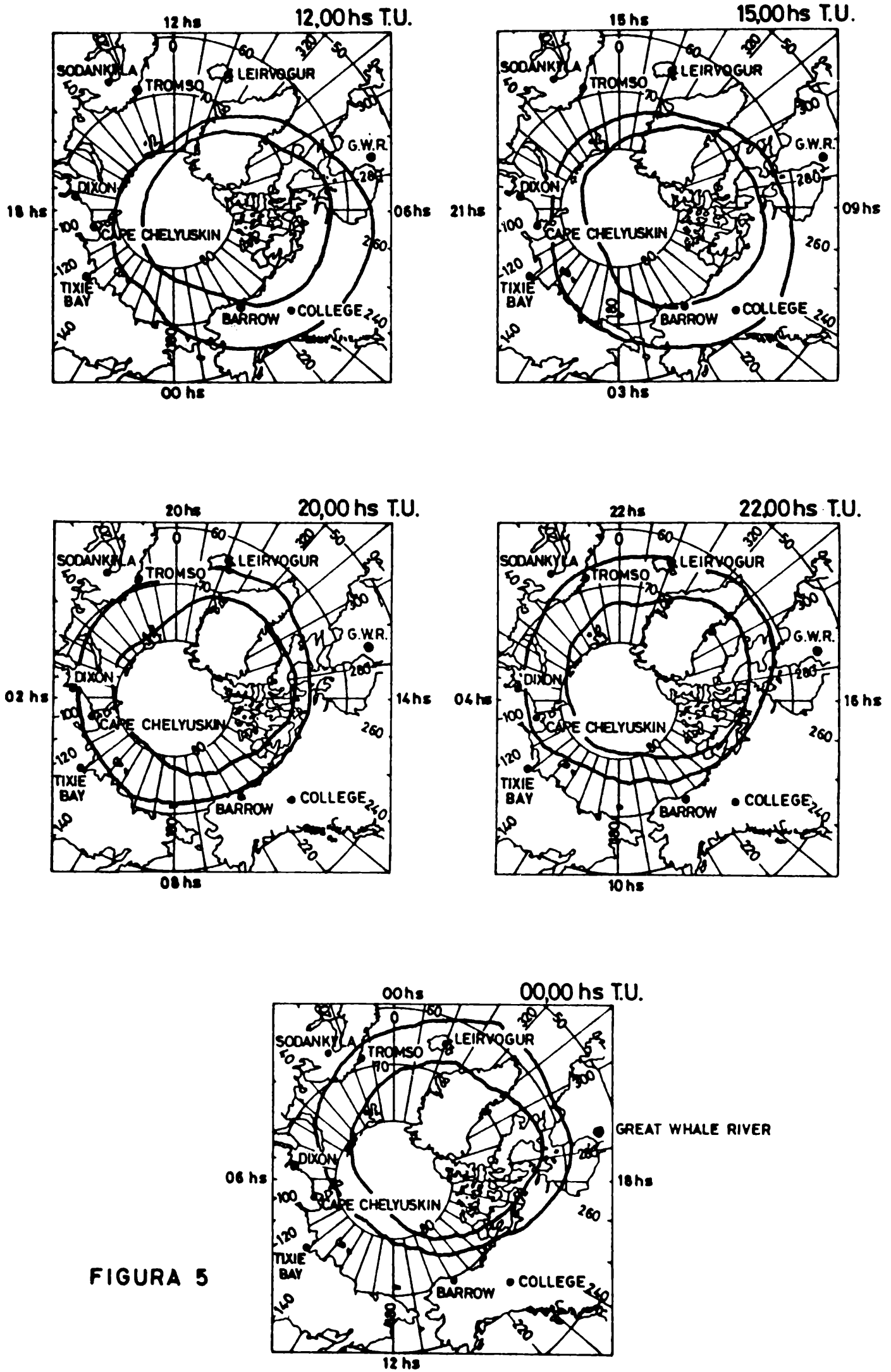


FIGURA 5

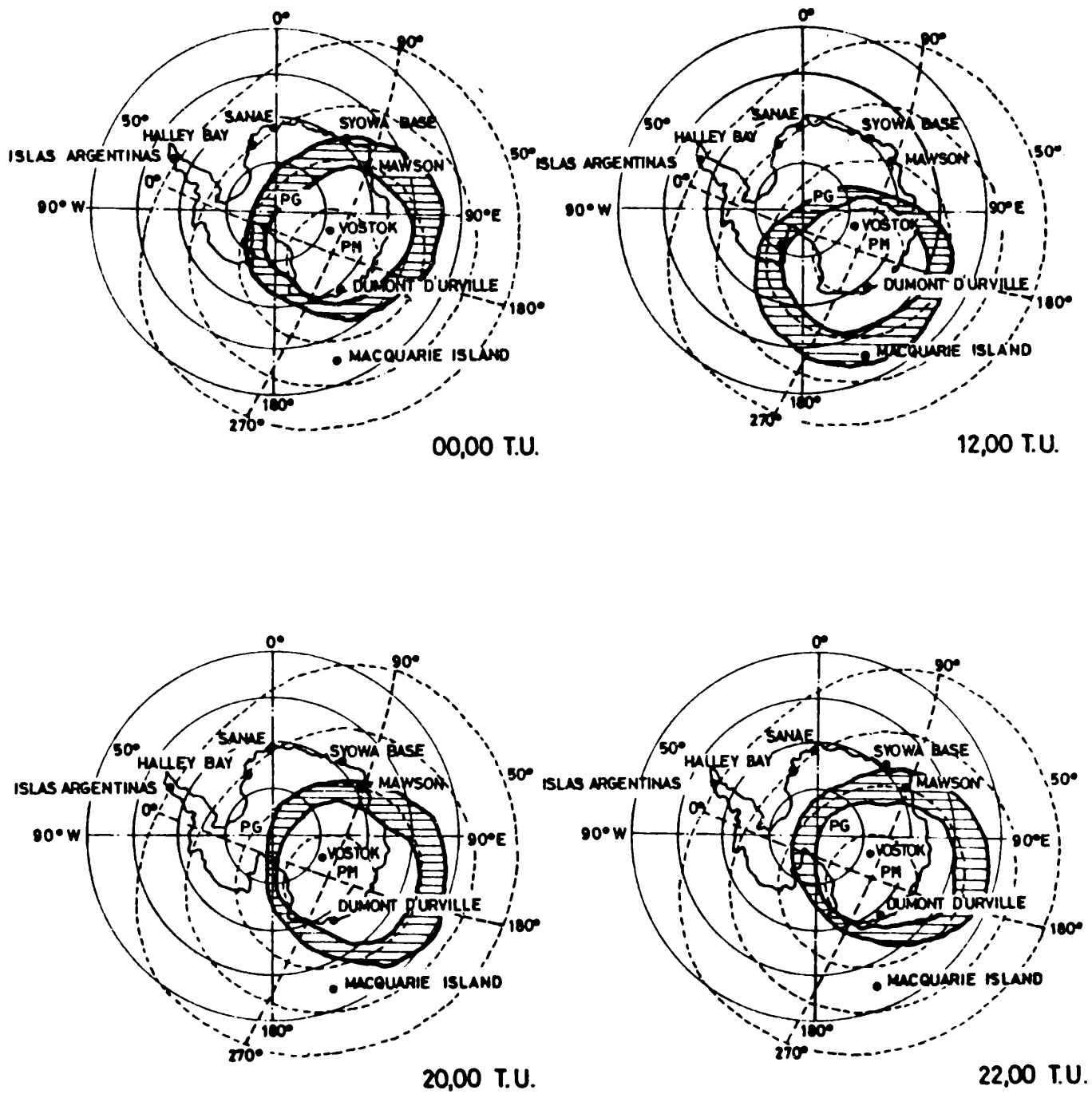


FIGURA 6

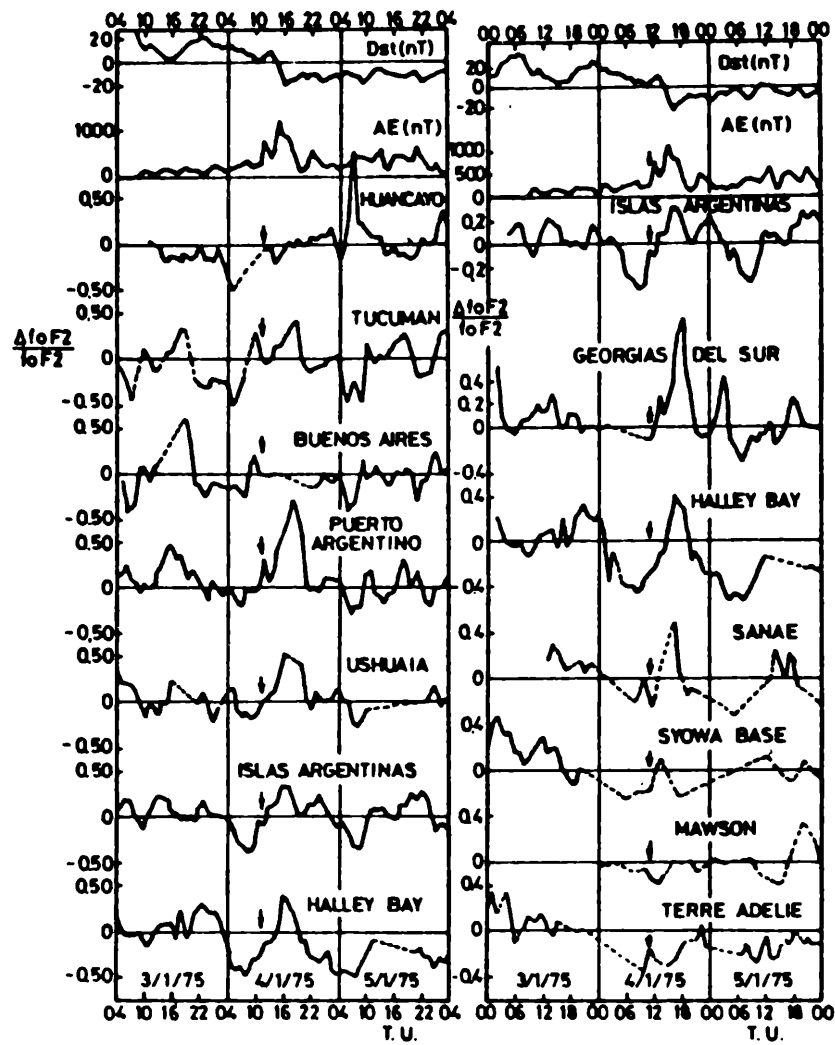


FIG. 7. RED SUDAMERICANA

FIG. 8. RED AURORAL SUR

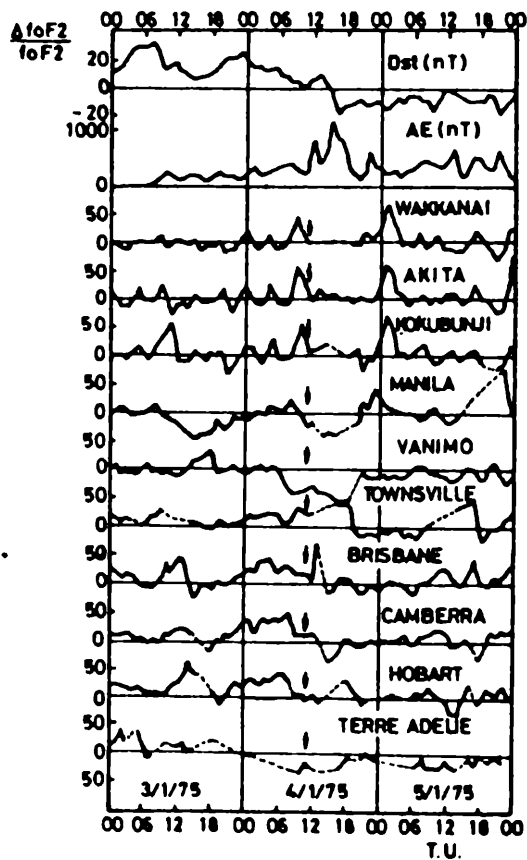


FIG. 9. RED AUSTRALO-ASIATICA

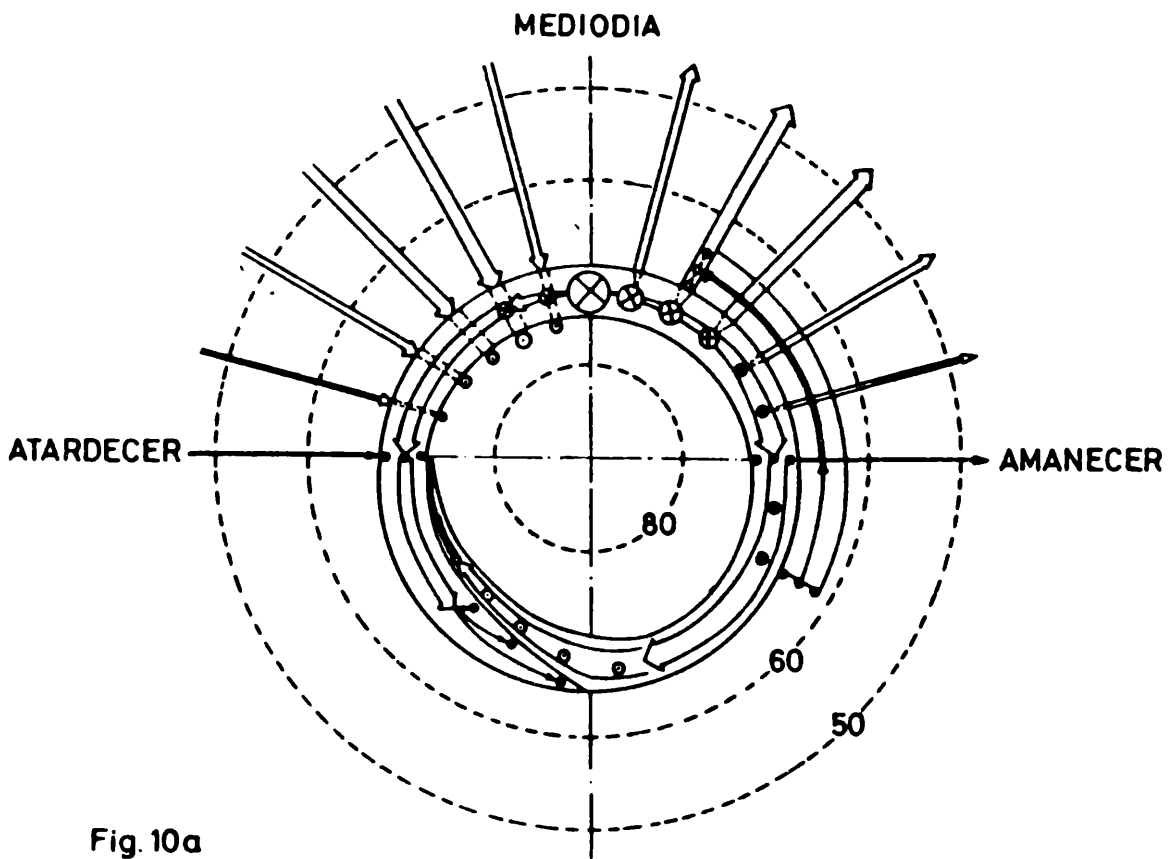


Fig. 10a

MODELO DE SISTEMA TRIDIMENSIONAL DE CORRIENTE PARA CONDICIONES TRANQUILAS

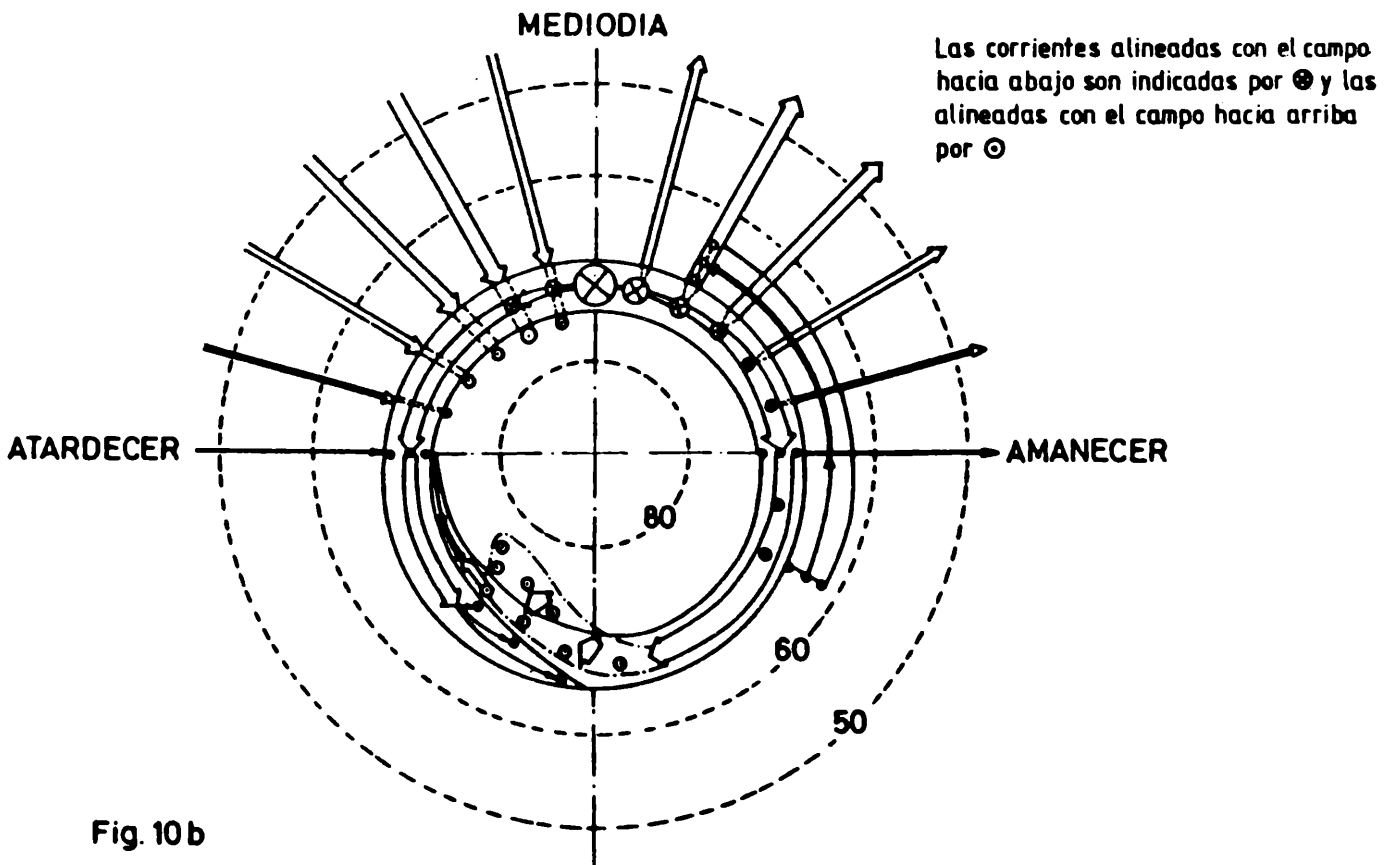


Fig. 10b

MODELO DE SISTEMA TRIDIMENSIONAL DE CORRIENTE PARA SUBTORMENTA