

VARIACIONES GEOMAGNETICAS SOLARES DE DIAS TRANQUILOS EN
TERRITORIO ARGENTINO SEGUN LA ACTIVIDAD SOLAR

María del C. Vecchi, María A. Van Zele y Otto Schneider

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

Buenos Aires, República Argentina

RESUMEN

Ampliando estudios anteriores referentes a condiciones de baja actividad solar, se ha determinado la variación tranquila, S_q , del campo geomagnético en alta actividad, contemplando también la componente vertical. Los observatorios incluidos son siete, formando una cadena desde el extremo norte del país hasta latitudes subaurorales. La respuesta de S_q frente a la actividad solar dista de ser uniforme, variando considerablemente según la latitud, la estación del año y el elemento magnético contemplado. Se concluye que la actividad solar, además de afectar el grado de ionización de la región E, debe influir también en los parámetros de la atmósfera neutra y su distribución vertical.

ABSTRACT

As an extension of former studies referring to S_q at low solar activity, vectograms of quiet geomagnetic variations, both horizontal and vertical, are presented for high activity. Seven observatories are included, forming a chain from the northern end of Argentina till subauroral latitudes. The solar cycle response of S_q is far from uniform, as regards latitude, season, and the magnetic element considered. This illustrates the influence which solar activity, in addition to its effect on E-layer ionization, must exert on the parameters of the neutral atmosphere and their vertical distribution.

INTRODUCCION

El objetivo del presente estudio es aportar nuevos elementos de juicio para el análisis comparativo de las variaciones geomagnéticas diarias solares en condiciones tranquilas, según la actividad solar y la latitud. Se eligieron para ello resultados de baja y alta actividad solar en sendos períodos anuales, calculados a partir de registros efectuados en los 7 observatorios instalados en territorio argentino que se consignan en la tabla 1. Tales variaciones (S_q) están determinadas aquí a partir de 5 días tranquilos de cada mes del período anual elegido. Como los índices de actividad magnética están definidos en tiempo universal, y el tiempo local en los observatorios argentinos tiene aproximadamente un corrimiento de 4 horas respecto de aquél; se eligen aquellos días internacionales tranquilos que satisfacen:

$$\sum M \leq 20 \quad , \quad K_1 < 2 \quad , \quad K_2 < 2$$

donde M es el valor semidiario del índice a_a correspondiente al día elegido (Mayaud, 1973 ; Mayaud y Romáñá, 1977),

K_1 y K_2 son los dos primeros índices trihorarios del día siguiente al elegido.

Un día internacional "tranquilo" pero afectado por una perturbación moderada, y que no satisface la primera condición es admitido si dicha perturbación se registra en las primeras horas del mismo, no pertenecientes al día local en los observatorios considerados. Aquellos días internacionales tranquilos que no satisfacen las citadas condiciones son reemplazados, de ser posible, por otros aproximadamente equivalentes.

Una componente C de S_q puede escribirse como

$$C(t) = C_D(t) + C_N$$

donde t es el tiempo local, C_D es la variación diurna medida a partir del valor de la medianoche C_N , y $C_N \simeq C_D^*$ (* indica el máximo

valor alcanzado). La variación diurna C_D es debida principalmente a corrientes ionosféricas originadas en movimientos periódicos de origen solar y C_N es causada por corrientes inducidas por las anteriores en el planeta.

VECTOGRAMAS REPRESENTATIVOS DE LA MORFOLOGÍA DE S_q

A modo de ejemplo se presentan gráficos correspondientes a tres de los observatorios mencionados.

Los vectogramas horizontales (Y, X) representan la traza de la proyección del extremo del vector campo magnético \vec{H} sobre el plano tangente a la superficie terrestre en el observatorio (figuras 1 y 2), en tanto que los vectogramas verticales (X, Z) dan la traza análoga sobre el plano meridiano (figuras 3 y 4). En todos los casos el origen del sistema de coordenadas indica la medianoche local.

Los períodos anuales elegidos para la consideración de la variación geomagnética y el valor medio anual de R (número relativo de manchas solares, medida de la actividad solar del respectivo período) para cada observatorio se detallan en la tabla 2.

Las variaciones se definen para los cuatrimestres constituidos por los meses según se detallan:

solsticio de verano: noviembre, diciembre, enero, febrero;

equinoccios: marzo, abril, setiembre, octubre;

solsticio de invierno: mayo, junio, julio, agosto.

En las figuras 1 a 4, el trazo grueso señala el intervalo entre la salida y puesta del sol a los 105 km sobre el nivel del mar, altura que se considera el nivel medio de la región E ionosférica, principal región responsable de las variaciones estudiadas. Tal intervalo para cada uno de los cuatrimestres y observatorios consta en la tabla 3. Para los vectogramas medios anuales se adapta el intervalo diario correspondiente a los equinoccios.

VARIACIONES OBSERVADAS CON LA LATITUD GEOGRAFICA

El observatorio de Trelew es el más próximo al vértice de corrientes ionosféricas equivalentes responsables de Sq.

Se confirma cualitativamente la morfología de Sq y su dependencia de la latitud (Chapman y Bartels, 1940; Schneider, 1978) en las tres componentes, salvo en la componente vertical de Isla Año Nuevo, cuya marcha diaria es anómala, originando un giro inverso en los vectogramas del plano meridiano. La interpretación de tal comportamiento es de potencial interés geofísico, pero escapa al marco temático del presente estudio.

VARIACIONES OBSERVADAS CON LA EPOCA DEL AÑO

Al norte de Trelew la amplitud del elemento Y disminuye notablemente en el solsticio de invierno.

En Trelew, las amplitudes de Y y Z disminuyen apreciablemente en el solsticio de invierno.

Al sur de Trelew las amplitudes de las tres componentes disminuyen considerablemente en el solsticio de invierno, notándose una variación estacional, tanto más marcada cuanto más al sur está ubicado el observatorio.

VARIACIONES CON LA ACTIVIDAD SOLAR

El aumento de la actividad solar produce un aumento de las amplitudes diarias de las componentes, lo que no se observa en el comportamiento de Y, en La Quiaca y Pilar en el solsticio de verano y en La Quiaca en el equinoccio.

El observatorio de Trelew registra una variación similar a los ubicados más al norte en época de alta actividad solar, pero similar a los ubicados hacia el sur en época de baja actividad solar, durante el solsticio de verano. Ello parece indicar que con el

incremento de la actividad solar el vértice de las corrientes ionosféricas equivalentes se desplaza hacia el sur.

Del estudio del incremento relativo m_C de la variación diaria de cada componente C por unidad de \bar{R} :

$$m_C = (C^* - C_0^*) / C_0^* \bar{R} = (C_D^* - C_{D0}^*) / C_{D0}^* \bar{R}$$

donde $C^* - C_0^*$ es la diferencia entre la amplitud de la componente geomagnética C medida para el valor \bar{R} de actividad solar, y la calculada para $\bar{R}=0$, $C_D^* - C_{D0}^*$ es la diferencia análoga para el término diurno, se desprende que:

- i) en general, como es consabido, $m_C > 0$, y $30 \cdot 10^{-4} \leq m_C \leq 70 \cdot 10^{-4}$, es decir que de un aumento de 100 en el índice de actividad solar \bar{R} resulta un incremento relativo entre el 30 y el 70% en la componente;
- ii) el observatorio que pone de manifiesto la mayor uniformidad en los valores m_C por componente y época del año es Trelew;
- iii) la respuesta a la actividad solar no es uniforme en un observatorio, ni con la época del año ni para una componente, como no lo es para una dada época del año y componente con la latitud.

Por otra parte, puede calcularse un incremento relativo análogo para la densidad electrónica N de la región E

$$N(R) = N(0) (1 + m_E R)$$

partiendo de la relación cuadrática de N con la frecuencia crítica fE y de la dependencia de esta última respecto de la actividad solar

$$fE(R) = K(R) (\cos \chi)^{n(R)}$$

donde $K(R) = 2,25 + 1,5 \cos \psi + [0,01 - 0,007 \cos \psi] R$

$$n(R) = 0,21 + 0,12 \cos \psi + 0,002 R$$

para $|\psi| < 60^\circ$ y $\cos \chi < 0,95$, siendo ψ la latitud geográfica, R el promedio mensual de manchas solares, χ el ángulo cenital del sol, y K y n parámetros empíricos (Dieminger, 1952).

En la tabla 4 se indican los valores de m_C para cada componente C, según el observatorio y la época del año y el año entero respectivamente, así como el aumento relativo equivalente en la densidad electrónica m_E de la región E. Cálculos análogos muestran (para latitudes medias) un incremento relativo medio del valor de pico de la región E, $m_E = 32 \cdot 10^{-4}$ (Comisiones de estudio del CCIR, 1980), o $33 \cdot 10^{-4}$ (UAG-82, 1981), en ambos casos independiente de la latitud.

Puede concluirse entonces que la variabilidad de la densidad electrónica no es simplemente la causa de la variabilidad observada en las componentes geomagnéticas, con la actividad solar, y que en general la primera es inferior a la segunda.

CAUSAS DE LA DISPARIDAD DE RESPUESTAS DE S_q A LA ACTIVIDAD SOLAR

I) Un aumento de la actividad solar afecta:

- i) la atmósfera neutra: la temperatura, la composición, el grado de disociación, los vientos y su perfil vertical;
- ii) el grado de ionización de la atmósfera y su perfil vertical;
- iii) la localización de la región E, que depende de las variables anteriores.

Si la región F también participa en la génesis de S_q , como es de suponer que ocurra en cierta medida, los efectos señalados en i) e ii) se manifestarán en ella con características distintas de las de la región E.

II) De observaciones directas registradas en la atmósfera se desprende que:

- a) en períodos de alta actividad solar, la radiación solar X es una fuente importante de ionización en la región D (Schmidtke, 1981);
- b) el flujo total de radiación solar en el ultravioleta lejano (EUV) se triplica aproximadamente de baja a alta actividad solar (Schmidtke, 1981);
- c) la radiación EUV, $[5, 105] \text{ nm}$, es absorbida principalmente por

encima de los 150 km (Kockarts,1981);

d) la altura donde se produce cada tipo de ion depende de la actividad solar y de la época del año (Kockarts,1981);

e) la radiación de [120,400]nm estaría relacionada con los procesos de fotodisociación que se producen entre la superficie terrestre y los 130 km de altura (Simon,1981).

CONCLUSIONES

La fracción de radiación EUV absorbida varía con la actividad solar (Kockarts,1981), así como la altura sobre el nivel del mar a la que se produce tal absorción (Kockarts,1981); la composición y la temperatura del modelo neutro se modifican simultáneamente con la variación de la actividad solar (Kockarts,1981). De ello se desprende que la emisión solar a lo largo del ciclo undecenal influye en forma irregular en las variables que determinan S_q , las que ponen de manifiesto la complejidad en la combinación de los procesos responsables de tales variaciones.

Una forma de separar los efectos que la actividad solar produce en la marea térmica de la atmósfera neutra, de los que se originan en el variable nivel de la densidad electrónica, sería estudiar la respuesta de la marea geomagnética lunar frente a la actividad solar, por ser ella más preponderantemente gravitacional, aunque tampoco insensible a los efectos de esta última.

Agradecimientos. Los autores agradecen al Instituto Antártico Argentino por facilitarles el acceso a datos y brindarles colaboración técnica, al Servicio Meteorológico Nacional por permitirles acceder a datos y otorgarles facilidades de trabajo, al Observatorio de La Plata por poner a su disposición datos, todos necesarios para este estudio; al CONICYT por los subsidios 8055/77-78 y, en parte, 8030/79 y 38a/80; al Dr Marcos Machado por su oportuna información

bibliográfica, y al Departamento de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires por las facilidades de trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- Chapman S. y Bartels J., 1940; *Geomagnetism*, Oxford at the Clarendon Press; 214-243.
- Dieminger W., 1952; en Landolf-Börnstein: *Zahlenwerte und Funktionen*, III (Astronomie und Geophysik), Springer-Verlag, Berlín; 721-723.
- Kockarts G., 1981; Effects of solar variations on the upper atmosphere, *Solar Physics*, 74,2, 296-314.
- Mayaud P.N., 1973; A hundred year series of geomagnetic data 1868-1967, *IAGA Bulletin N° 39*; UGGI.
- Mayaud P.N. y Romañá A., 1977; Supplementary geomagnetic data 1937-75, *IAGA Bulletin N° 39*; UGGI.
- Schmidtke G., 1981; Solar irradiance below 120 nm and its variations, *Solar Physics*, 74,1, 253-261.
- Schneider O., 1978; Perfil norte-sur de vectogramas geomagnéticos diarios en condiciones tranquilas, *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, CCV, 3-12.
- Simon P.C., 1981; Solar irradiance between 120 and 400 nm and its variations; *Solar Physics*, 74,1, 273-288.
- Comisiones de estudio del CCIR, 1982; Método de cálculo de la frecuencia máxima utilizable, *Documentos (6/64-s)*, período 1978-1982, URSS.
- UAG-82,81; URSI Working group 64, IRI 79, World Data Center A for solar-terrestrial physics.

Observatorio	Sigla	Lat.geogr.	Long.geogr.0
La Quiaca	LQ	-22,1°	65,6°
Pilar	Pi	-31,7°	63,9°
Las Acacias	LA	-35,0°	57,7°
Trelew	Tw	-43,2°	65,3°
Isla Año Nuevo	IAN	-54,6°	64,1°
Orcadas del Sud	OS	-60,7°	44,8°
Islas Argentinas	IA	-65,2°	64,3°

Tabla 1: coördenadas geográficas de los observatorios considerados.

Obs.	Vectograma horizontal				Vectograma vertical			
	P ₁	\bar{R}_1	P ₂	\bar{R}_2	P ₁	\bar{R}_1	P ₂	\bar{R}_2
LQ	5-64/4-65	9,5	1-69/12-69	105,6	9-32/8-33	7,6	1-69/12-69	105,6
Pi	9-43/8-44	7,6	1-69/12-69	105,6	9-43/8-44	7,6	1-69/12-69	105,6
LA	5-64/4-65	9,5	4-69/ 3-70	104,2			4-69/ 3-70	104,2
Tw	5-64/4-65	9,5	4-69/ 3-70	104,2	5-64/4-65	9,5	4-69/ 3-70	104,2
IAN	4-02/3-03	6,8	1-17/12-17	103,8	4-02/3-03	6,8		
OS	9-32/8-33	7,6	7-37/6-38	108,4				
IA	5-64/4-65	9,5	1-67/12-67	93,8	5-64/4-65	9,5	1-67/12-67	93,8

Tabla 2: períodos considerados de baja (P₁) y alta (P₂) actividad solar y promedios correspondientes de R.

Obs.	Solsticio de verano		Equinoccios		Solsticio de invierno	
	h_s	h_p	h_s	h_p	h_s	h_p
LQ	4,66	19,34	5,26	18,74	5,75	18,25
Pi	4,28	19,72	5,19	18,81	5,96	18,04
LA	4,12	19,88	5,16	18,84	6,04	17,96
Tw	3,62	20,38	5,05	18,95	6,24	17,76
IAN	2,38	21,62	4,80	19,20	6,61	17,39
OS	0	0	4,57	19,43	6,88	17,12
IA	0	0	4,32	19,68	7,14	16,86

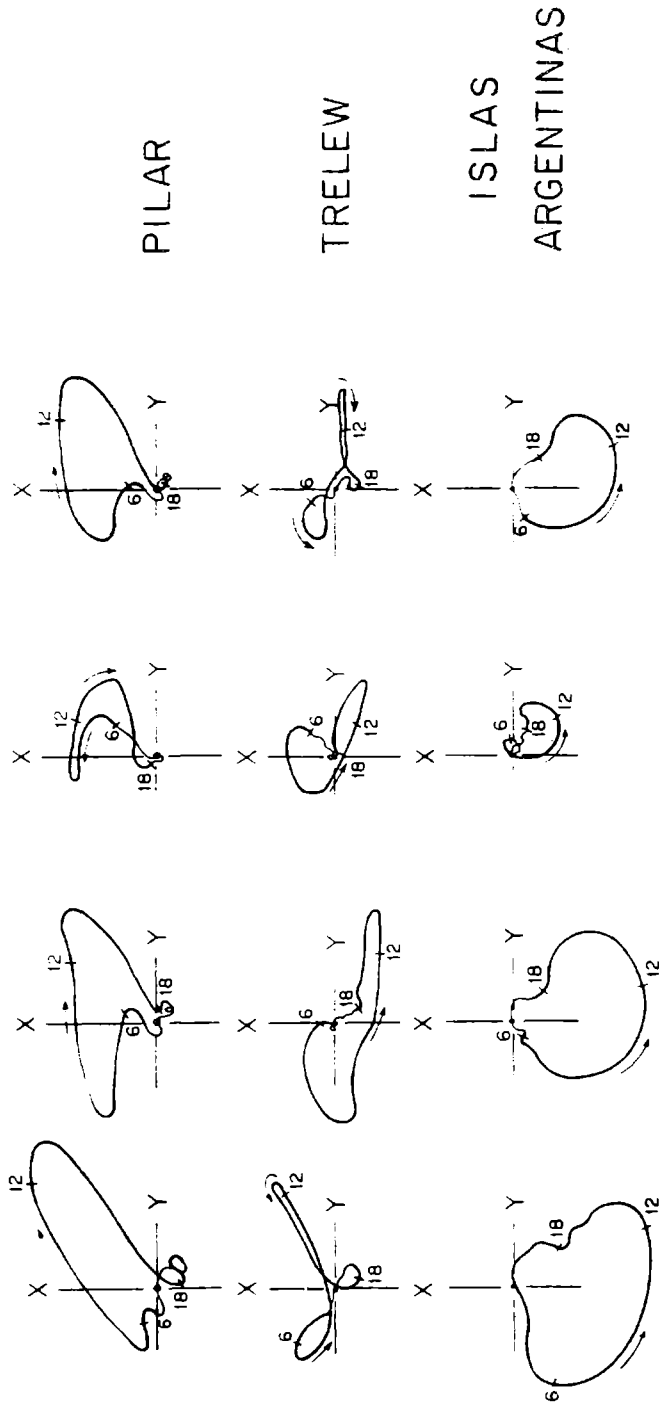
Tabla 3: hora de salida (h_s) y de puesta (h_p) del sol para cada observatorio, en tiempo local, a 105 km sobre el nivel del mar.

Obs.	$m_x \cdot 10^4$				$m_y \cdot 10^4$				$m_z \cdot 10^4$				$m_E \cdot 10^4$			
	SV	EQ	SI	A	SV	EQ	SI	A	SV	EQ	SI	A	SV	EQ	SI	A
LQ •	82	42	50	71	-22	-13	27	24	27	37	26	31	20	20	19	20
Pi •	89	87	59	66	-18	7	38	6	128	68	141	96	24	23	22	23
LA •	70	63	10	25	54	7	73	50	-	-	-	-	26	25	23	25
Tw	52	34	36	65	54	37	41	61	122	48	56	74	31	30	28	30
IAN	38	95	87	65	34	52	91	46	-	-	-	-	41	39	35	39
OS •	63	70	143	96	58	70	168	94	-	-	-	-	47	45	39	45
IA •	81	68	52	72	47	57	45	63	33	38	63	38	53	50	42	50

Tabla 4: incremento relativo por unidad de R , de cada componente geomagnética diaria (observada) y de la densidad electrónica de la región E (calculada), para el solsticio de verano (SV), los equinoccios (EQ), el solsticio de invierno (SI) y el año (A). Los valores anuales de m_E se suponen iguales a los de los equinoccios.

• no satisfacen $\cos \chi_{\min} < 0,95$ en SV

• no satisfacen $|\psi| < 60^\circ$



SOLSTICIO EQUINOCIOS SOLSTICIO AÑO
 DE VERANO DE INVIERNO
 Figura 1: vectogramas horizontales para baja actividad solar

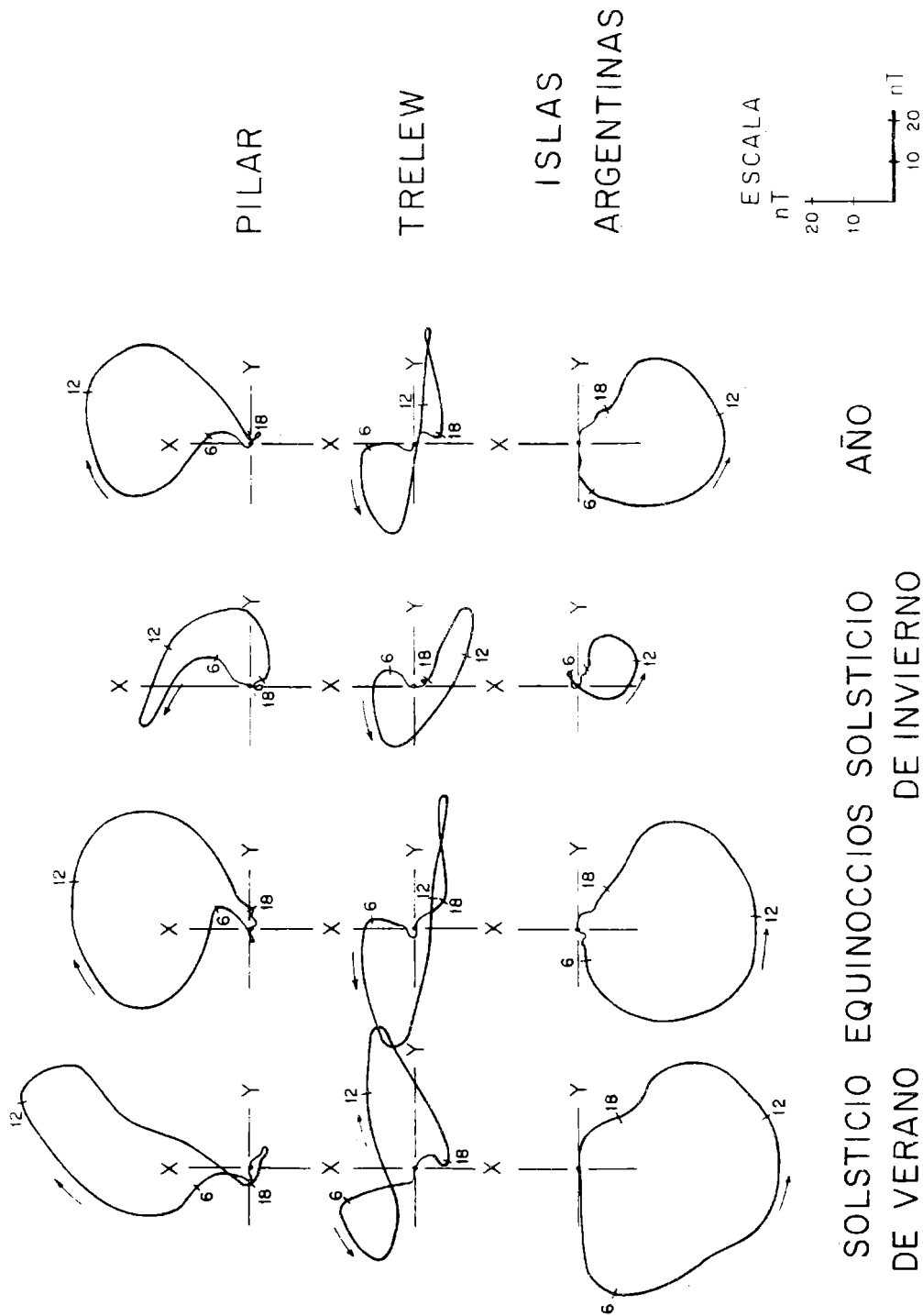


Figura 2: vectogramas horizontales para alta actividad solar

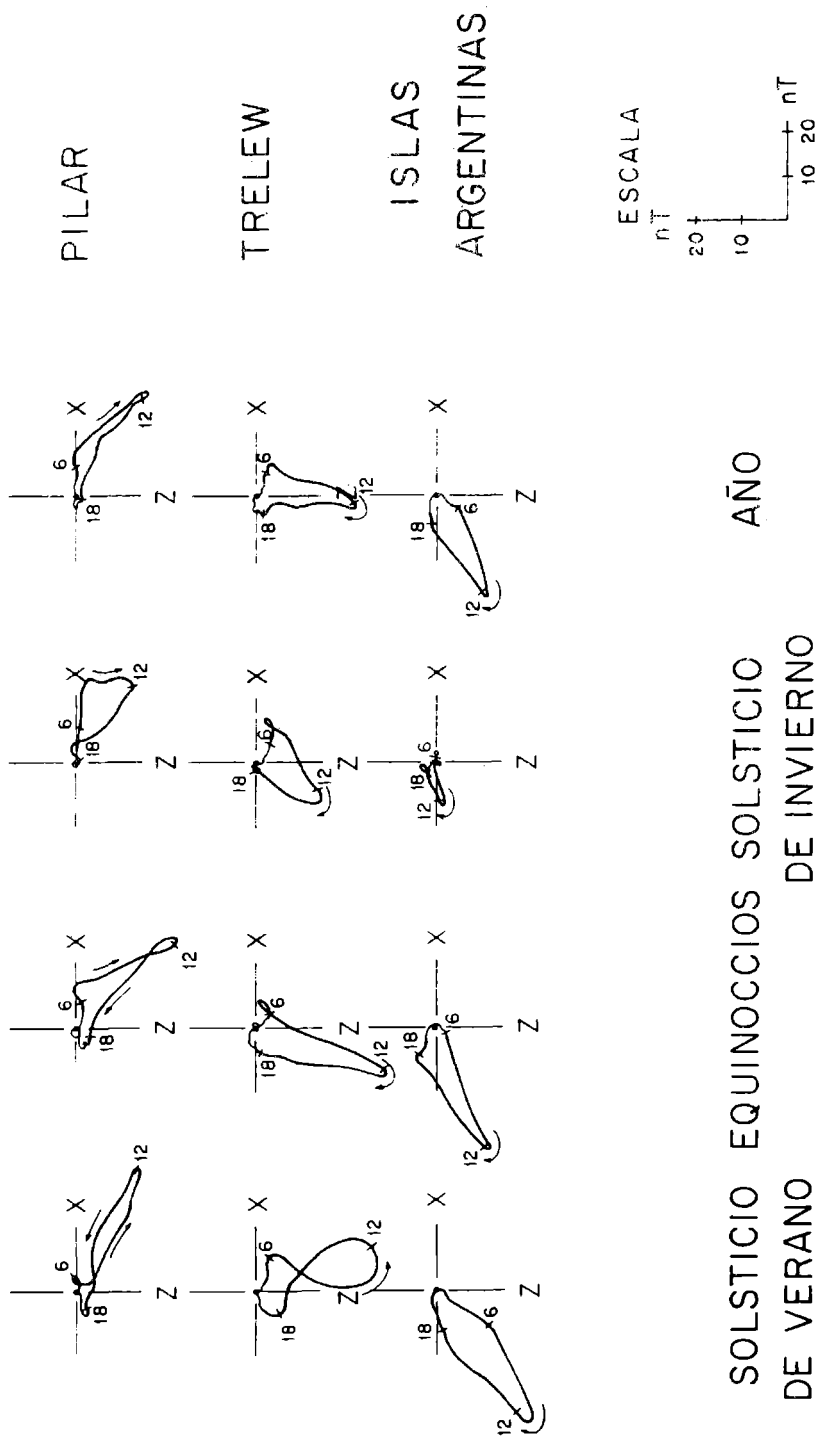


Figura 3: vectogramas verticales para baja actividad solar

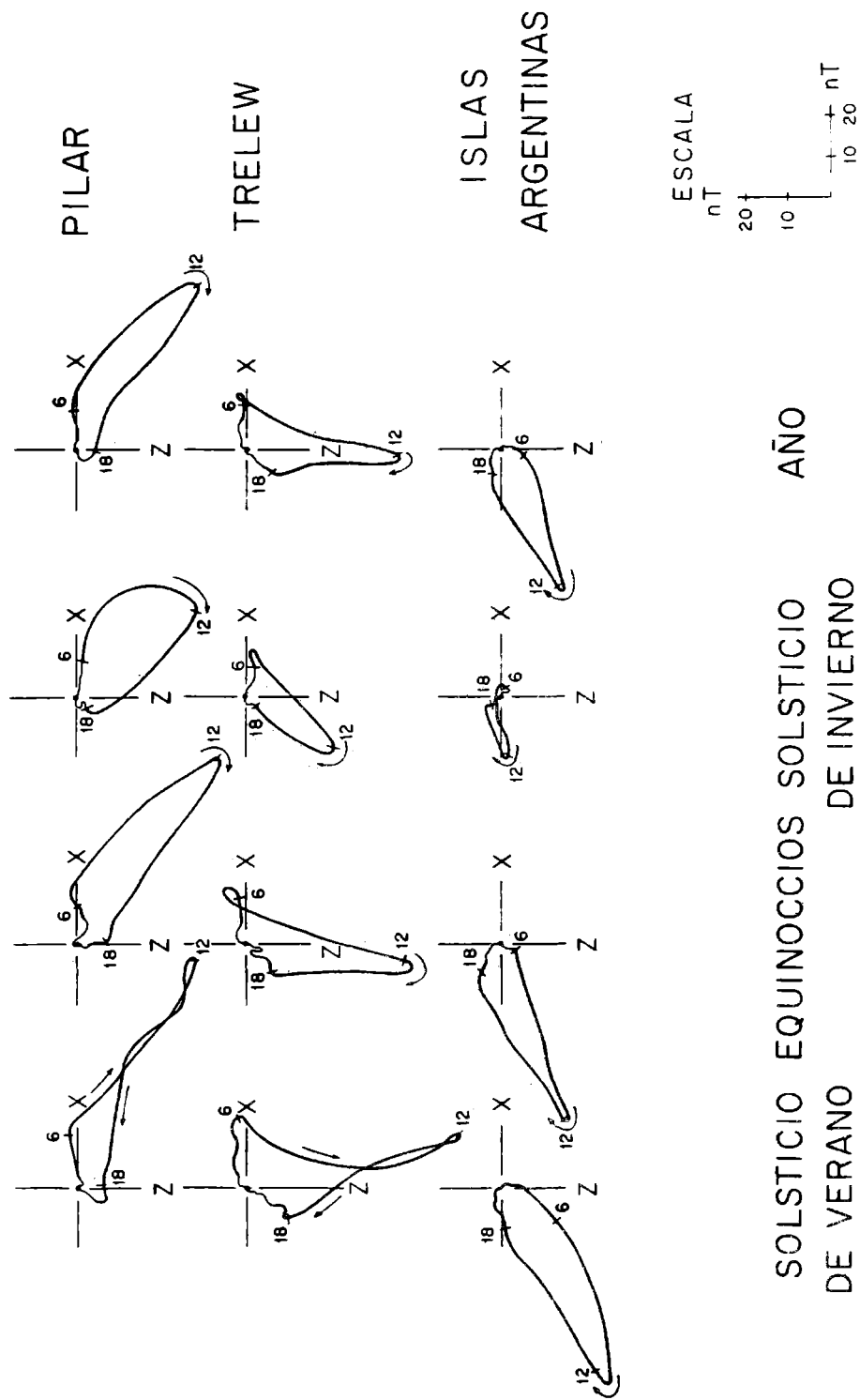


Figura 4: vectogramas verticales para alta actividad solar