

DETERMINACION Y PREDICCION DEL NIVEL NOCTURNO PARA RELEVAMIENTOS GEOMAGNETICOS EN LA PCIA. DE BS. AS.

J:C.GIANIBELLI(*), M.L.MOTTA(**), C.FERRI(***) , F.F.RIOS(**) y
I.R.CABASSI(*)

(*) Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas. U.N.L.P.

(**) Fac. Cs. Exactas y Naturales. U.N.M.D.P.

(***) I.N.I.P.- F.A.M.A. - Univ. Católica de La Plata

RESUMEN.— El presente trabajo trata sobre el estudio del denominado Nivel de Referencia Nocturno, determinado en base a las componentes H, Z y a la fuerza total F del campo geomagnético en el Observatorio Magnético de "Las Acacias", Pcia. de Bs. As.. Las observaciones se realizaron a partir de los magnetogramas en el intervalo comprendido entre las 0 y 3 hs. de tiempo local, con índice de actividad K=0 y 1, y agrupadas según el número estacional de Bartels que divide el año calendario en quincenas, comenzando el 22 de diciembre de cada año. El período analizado está comprendido entre los años 1971-1983. Utilizando 20 quincenas correspondientes a 1984 para la actualización del modelo, se observó una discrepancia de solamente 4 nT. Por consiguiente, se extrapola el modelo para todo el año 1985.

ABSTRACT.— A method for reduction to the Nocturnal Reference Level of magnetic field observations such as those obtained in geomagnetic surveys is described. That level from the components H, Z and the total force of geomagnetic field F, is determined at the Magnetic Observatory of "Las Acacias", Pcia. Bs. As.. The readings of magnetograms are made between 0-3 LT hours, using 3-hr indices of geomagnetic activity K=0 and 1, according to Bartels's seasonal number, which divide the year in intervals of fifteenth days long beginning December 22 of each year. The period 1971-1983 is analyzed. At the end, a difference less than 5 nT is observed, using 20 intervals for 1984 to analyze the data of the pattern. So, the pattern for 1985 is extrapolated.

INTRODUCCION.— El campo geomagnético es aproximadamente dipolar, con su eje inclinado $11^{\circ}5$ respecto del eje de rotación. Este campo magnético se extiende en el espacio circumterrestre e interacciona con el viento solar (formado por protones y electrones), lo cual determina una onda de choque y un límite denominado magnetopausa, lugar éste último donde se

equilibran la energía del campo geomagnético con la energía cinética del viento solar. Dicho límite se halla a 10 RT mirando hacia el Sol, y a más de 150 RT hacia el lado nocturno (1 RT = 6380 Km = un (1) Radio Terrestre). La cavidad determinada por la magnetopausa, encontrándose en su interior la Tierra, se denomina magnetosfera, la cual se llamará "Medio Ambiente Geonómico".

En la superficie terrestre se registran, tanto en estaciones magnéticas permanentes como semi-permanentes, las variaciones del campo geomagnético en forma absoluta y relativa; las componentes del campo registradas son: componente vertical (Z), horizontal (H) y la declinación (D); asimismo las componentes norte (X), este (Y), el módulo del campo total (F) y eventualmente la inclinación (I) también son registradas. En los relevamientos se determinan en forma puntual o continua la componente Z o las componentes X e Y y el módulo del campo total F. En todo registro y relevamiento se detectan las partes del campo que son quasi-permanentes, periódicas y transitorias.

CAMPO GEOMAGNETICO- FUENTES Y ESPECTRO DE LAS VARIACIONES.- Las fuentes del campo geomagnético son las siguientes: (MERRIL, R.T., and McELHINNY, M. W., 1983; PARKINSON, W.P., 1983).

a) Campo de origen interno

- a.1- Campo Principal (F_p): es quasi-permanente, de origen en el núcleo externo de la Tierra debido al efecto de una dinamo magneto-hidrodinámica.
- a.2- Campo de la Corteza (F_c): es magnetostático, formado por acumulaciones de minerales ferromagnéticos en las formaciones geológicas.
- a.3- Campos Secundarios e Inducidos (F_s): son generados en la hidrosfera por efecto dinamo, e inducidos en ella y en la corteza por corrientes ionosféricas y magnetosféricas. Estos campos son débiles y despreciables para las finalidades de los relevamientos geomagnéticos terrestres, pero no lo son en relevamientos marinos. Son periódicos y transitorios.

b) Campo de origen externo: formado por sistemas de corrientes equivalentes situados en:

Ionósfera (F_v^i): genera un campo magnético periódico denominado variación diaria, y otro transitorio cuando se producen las tormentas magnéticas.

Magnetósfera (F_v^m): genera un campo magnético transitorio, y son responsables de las tormentas magnéticas, báhías y pulsaciones.

La Ionósfera es producida por la acción ionizante fotónica y térmica del Sol, acompañada por la acción gravitatoria del Sol y de la Luna; en cambio las corrientes de la Magnetósfera son producidas por las partículas provenientes del Sol, atrapadas en dicha cavidad, que en algunos casos llegan hasta los niveles de la Ionósfera (150 Km. de altura).

Los campos F_v^i y F_v^m son campos variables y se los denominará F_v , ya que F_v^m aparece superpuesto a F_v^i cuando sucede una tormenta magnética.

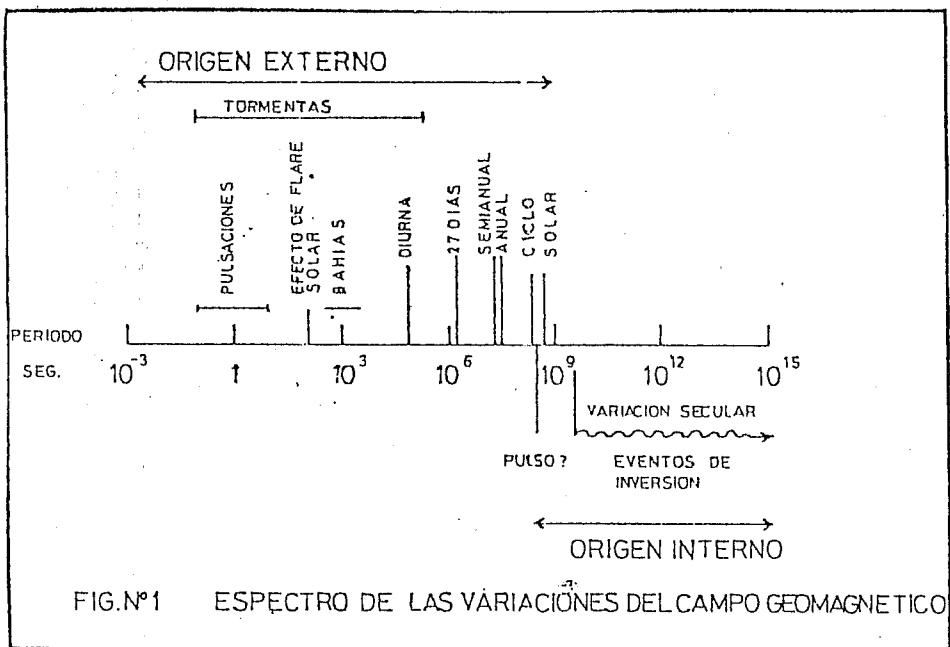
Las partes del campo que se registran o miden en un relevamiento magnético están compuestas por: $F_{\text{medido}} = F_p + F_c + F_s + F_v$. Por lo tanto, es de interés para el geólogo y el geofísico conocer el campo y las anomalías producidas por la corteza, es decir F_c , que entonces será

$F_c = F_{\text{medido}} - F_p - F_s - F_v$, y como se ha dicho que F_s era despreciable, se tiene que $F_{\text{medido}} - F_p - F_v$ es la denominada anomalía magnética, y que depende del conocimiento del campo principal y de las variaciones diarias y transitorias.

Para extraer las variaciones F_v , es necesario conocer el denominado "Nivel de Referencia Nocturno" para el cual F_v es prácticamente nulo, pues el Sol no ejerce su acción ionizante y térmica, pero posee el efecto de las corrientes de la cola de la Magnetósfera, de valor menor a 10 nT.

El espectro de las variaciones del campo geomagnético de origen externo e interno se encuentra graficado en la Fig. n°1, donde podremos identificar a F_p como el correspondiente a la fuente de origen interno aproximable por desarrollo en esféricos armónicos, y a F_v como el de origen externo. Generalmente se determina la anomalía magnética por aplicación su-

cesiva de las correcciones siguientes: primero corrigiendo por el campo de Fv (también denominada Corrección por Variación Diaria), y segundo por extracción de Fp.



VARIACION SECULAR.— El campo de origen interno Fp posee variaciones lentas de forma lineal, no lineal, de pulsos y de varios cientos y miles de años, éstos últimos lapsos estimados por medio del arqueomagnetismo y paleomagnetismo. Las fuentes de la variación secular se encuentran en el núcleo externo de la Tierra, en su interacción con el manto, y en el manto mismo (KANE, R.P., 1976).

De los datos geomagnéticos registrados en toda la Tierra en los últimos 400 años, se tienen las siguientes propiedades:

- El campo geomagnético ha sido predominantemente dipolar.
- La componente dipolar se ha mantenido constante en dirección durante varias décadas, pero disminuyendo el momento dipolar equivalente en un 5 % por año.
- Las componentes no dipolares poseen una variación secular considerable derivando hacia el oeste entre 0.1 a 0.6° por año.
- Se han determinado pulsos del campo geomagnético cuya duración ha sido de alrededor de 13 años.

e) Cambios en la declinación e inclinación en los últimos cientos de años revelaron periodicidades de 400 a 10.000 años

LOS RELEVAMIENTOS MAGNETICOS EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.- En el Observatorio Magnético Internacional de Referencia denominado "Las Acacias" (situado en la Ruta N°11 a 30 Km. de la ciudad de La Plata) se registran en forma absoluta e ininterrumpida desde el año 1962 las componentes H, Z y D del campo geomagnético.

Para extraer el campo F_v en los relevamientos magnéticos realizados en la Pcia. de Bs. As., se debe conocer ésta variación (F_v) respecto del Nivel de Referencia Nocturno (NRN) en el instante de la observación del campo y aplicarse como una corrección. Esto es posible efectuarlo ya que por medio del método de observaciones repetidas en la malla del relevamiento, se puede conocer estimativamente la variación de F_v en el lugar, y por comparación con los registros del Observatorio Magnético de "Las Acacias" y la determinación del NRN se puede obtener el valor absoluto de F_v .

El NRN tiene una lenta variación pues es prácticamente coincidente con F_p a menos de un campo magnetostático producido por el espesor de la corteza infrayacente en el observatorio de "Las Acacias". La variación del NRN permite establecer una curva de referencia de las componentes magnéticas H y Z y del campo total F, denominada curva de variación secular. El conocimiento de la expresión explícita de ésta curva, mediante el ajuste de los datos del NRN en "Las Acacias", facilita la determinación y predicción del mismo, en períodos quincenales o mayores de tiempo.

ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE LOS DATOS.- Se define como NRN al valor del campo geomagnético registrado en un observatorio permanente o semi-permanente entre las 21 y 6 horas de Tiempo Local (T.L.), con un índice local tri-horario de perturbación $K \leq 2$. Para el caso del Observatorio Geomagnético de "Las Acacias", el NRN se tomó entre las 0 y 3 hs. de T.L. (3 y 6 hs. respectivamente de Tiempo Universal), con un índice $K \leq 1$.

Con el fin de obtener una resolución en tiempo acorde con el agrupamiento de datos, que reflejan la posición relativa Sol-Tierra de una ma-

nera mejor que la división en meses actuales, se adoptó el agrupamiento según el número estacional de Bartels (GIANIBELLI, J.C. et al., 1985; CHAPMAN, S. and LINZEN, R., 1969). Este criterio se basa en que la radiación solar incide de forma variable sobre la Tierra en un año, según la declinación del Sol, lo cual regula distintos tipos de fenómenos geofísicos, y entre ellos los fenómenos geomagnéticos. Por lo tanto, la división en 12 meses del año en el calendario gregoriano no se adapta al estudio de ésta influencia solar variable, pues los meses y trimestres no son iguales, ni los solsticios ni los equinoccios delimitan los meses ni son centrados en ellos. Entonces es conveniente dividir el año asignando un número entero estacional diario Sigma (σ) a cada grupo calendario (incluyendo febrero 29 en años bisiestos), y que sea el mismo para todos los años. Esto es, en síntesis, un calendario Sigma perpetuo, el cual no estaría afectado por reformas futuras, ya que solamente se tendría que redefinir el, o mejor dicho los valores de Sigma en forma apropiada.

TABLA 1

Nº de Bartels (sigma para el grupo)	Días inicial y final inclusivos en el grupo	Cantidad de días en el grupo	Nº de grupo o intervalo
01	22 dic. - 05 ene.	15	1
03	06 ene. - 20 ene.	15	2
05	21 ene. - 04 feb.	15	3
07	05 feb. - 19 feb.	15	4
09	20 feb. - 06 mar.	15 o 16	5
11	07 mar. - 22 mar.	16	6
13	23 mar. - 06 abr.	15	7
15	07 abr. - 21 abr.	15	8
17	22 abr. - 06 may.	15	9
19	07 may. - 21 may.	15	10
21	22 may. - 05 jun.	15	11
23	06 jun. - 20 jun.	15	12
25	21 jun. - 05 jul.	15	13
27	06 jul. - 20 jul.	15	14
29	21 jul. - 05 ago.	16	15
31	06 ago. - 20 ago.	15	16
33	21 ago. - 05 set.	16	17
35	06 set. - 20 set.	15	18
37	21 set. - 05 oct.	15	19
39	06 oct. - 21 oct.	16	20
41	22 oct. - 06 nov.	16	21
43	07 nov. - 21 nov.	15	22
45	22 nov. - 06 dic.	15	23
47	07 dic. - 21 dic.	15	24

La determinación del valor Sigma, se basa en la longitud h del Sol medio, representándose por el número impar más próximo a: $48*(h^\circ - 90^\circ)/360^\circ$, obteniéndose así 24 grupos numerados de la siguiente forma: 01, 03, 05, ..., 47 comenzando por el día 22 de diciembre de cada año, es decir en el solsticio de verano para nuestro hemisferio.

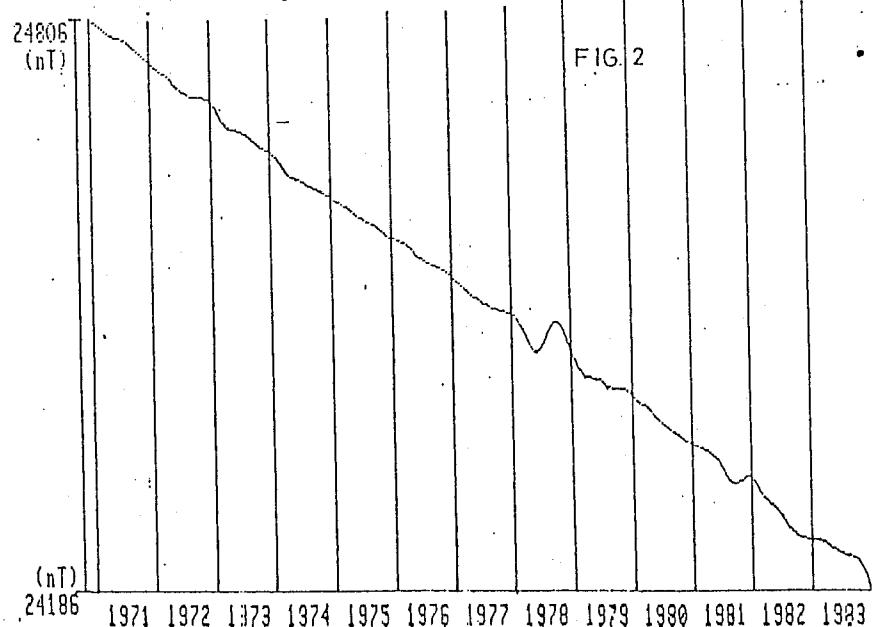
En la tabla 1 se indican el nº de Bartels, la fecha de inicio y final del grupo, la cantidad de días en cada uno y un número auxiliar denominado nº de grupo o intervalo quincenal que se utilizará para generar la serie temporal de datos, ya que el mismo es consecutivo.

Los días, cuyo NAN para las componentes H y Z y para la fuerza total F del campo geomagnético verifica las condiciones antedichas, son agrupados y promediados por el número de grupo para los años 1973 a 1983 inclusives, generándose así una serie de tiempo de 312 valores. Cada valor de ésta serie representa entonces el valor promedio del NAN para un lapso de 15 o 16 días.

La presencia de ruido se filtra por medio de una ventana de Spencer de 21 puntos centrada, aplicada a la serie final, dada por la fórmula:

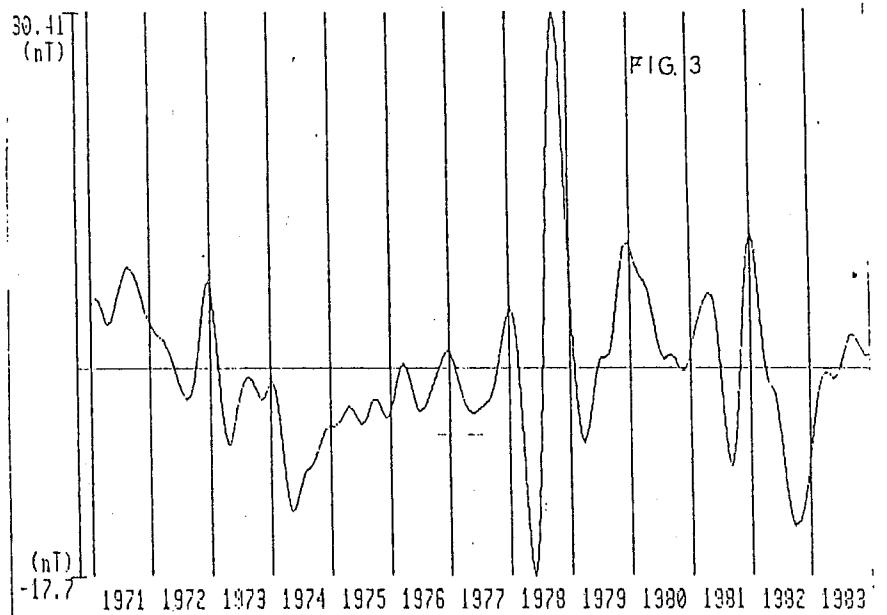
$$F(T) = (1/350) * \left\{ 60*F(T) + 57* [F(T+1) + F(T-1)] + 47* [F(T+2) + F(T-2)] + 33* [F(T+3) + F(T-3)] + 18* [F(T+4) + F(T-4)] + 6* [F(T+5) + F(T-5)] - 2* [F(T+6) + F(T-6)] - 5* [F(T+7) + F(T-7)] - 5* [F(T+8) + F(T-8)] - 3* [F(T+9) + F(T-9)] - [F(T+10) + F(T-10)] \right\} \quad (1)$$

Fuerza Total -- Curva Original Filtrada

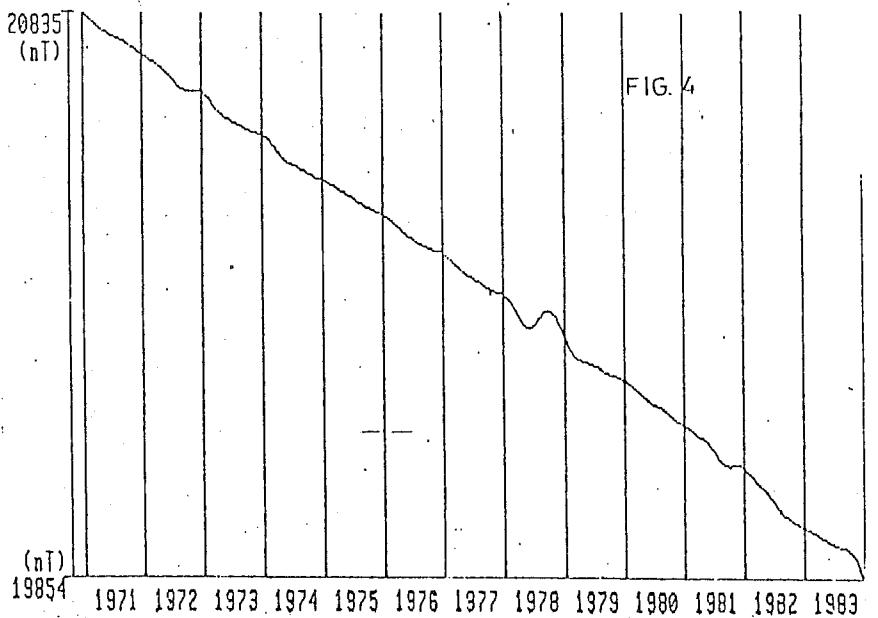


En la fórmula (1), T representa para éste caso el número consecutivo de grupo o intervalo. Los efectos de borde se corrigen por la inclusión de valores estimados por mínimos cuadrados, de la recta de mejor ajuste sobre los datos originales. En las figs. n°s 2, 4 y 6 se presentan las series originales filtradas que ejemplifican la variación del NAN.

Fuerza Total - Curva de Diferencias Filtradas



Componente Horizontal - Curva Original Filtrada



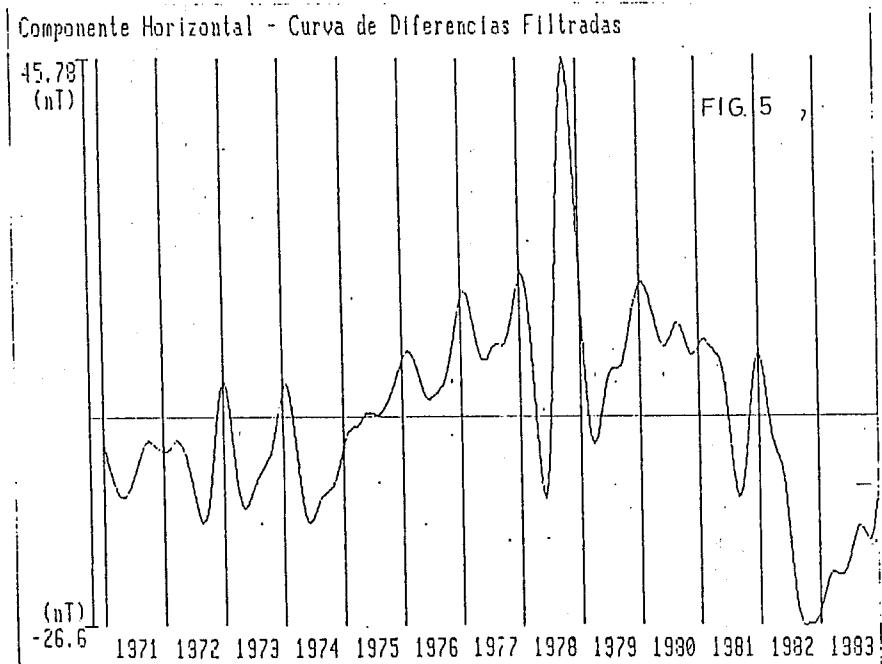
MODELOS.- Las series de tiempo de las componentes F y H, presentan una variación casi lineal, mientras que Z tiene cierta curvatura.

En la fig.2 se presenta la forma del NRN para la fuerza total F, el cual es modelizado por la siguiente expresión:

$$F(t) = [24802.87 - 1.910522*t] \text{ (nT)} \quad (2)$$

en donde la variable t representa el intervalo o grupo estacional de Bartels, comenzando con t=1 para el intervalo 22 de diciembre de 1970 al 05 de enero de 1971.

La diferencia entre el modelo y los datos filtrados se muestra en la fig.3. Se observa la forma de la variación anual con amplitudes menores a 10 nT, excepto para el año 1978 en donde ésta variación fue del orden de 47 nT, según se ve en la fig.2, así como también en la componente H para el mismo año (figs.4 y 5).



En cambio, en la componente Z (figs.6, 7, 8 y 9) no existe variación al comparar el año 1978 con los restantes. Por lo tanto es aventurado y riesgoso suponer tanto un origen interno como externo de éste evento, pero el método ha demostrado una forma de aislarlo eficazmente.

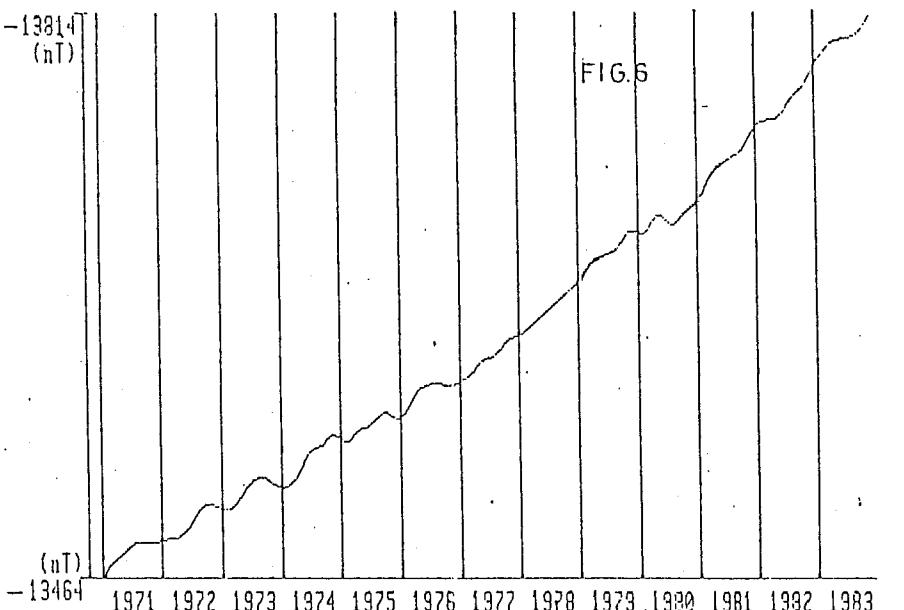
En la fig.4 se muestra la forma del NRN para la componente H, resultando su modelización dada por:

$$H(t) = [20841.86 - 3.02349*t] \quad (nT) \quad (3)$$

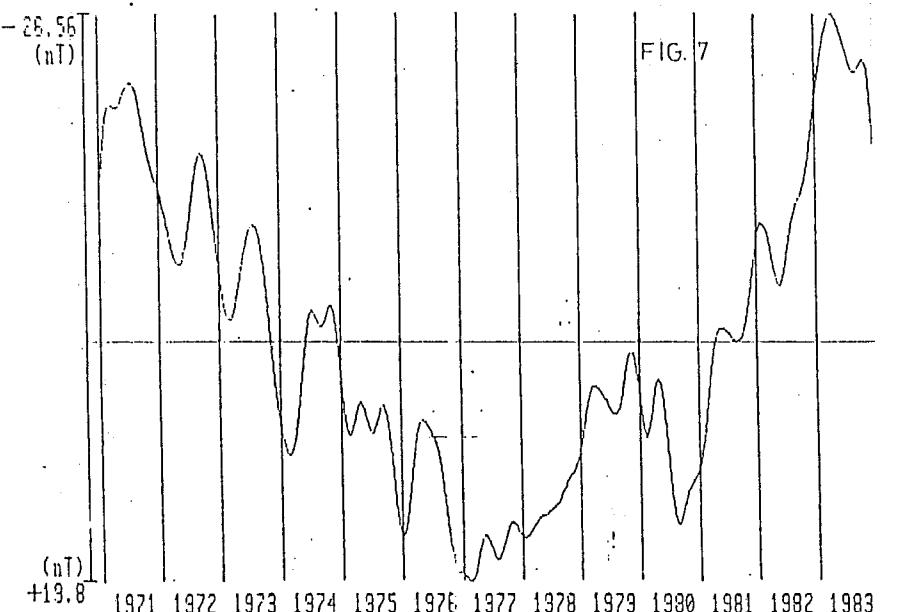
La diferencia entre el modelo y los datos filtrados se muestra en la fig.5.

Para la componente Z se tiene también un decrecimiento lineal (fig.6) y además se observa que las diferencias de los datos con los correspondientes al modelo, presentan una componente parabólica (fig.7). Esta curva de diferencias filtradas es a su vez modelizada mediante una parábola.

Componente Vertical - Curva Original Filtrada



Componente Vertical - Curva de Diferencias Filtradas

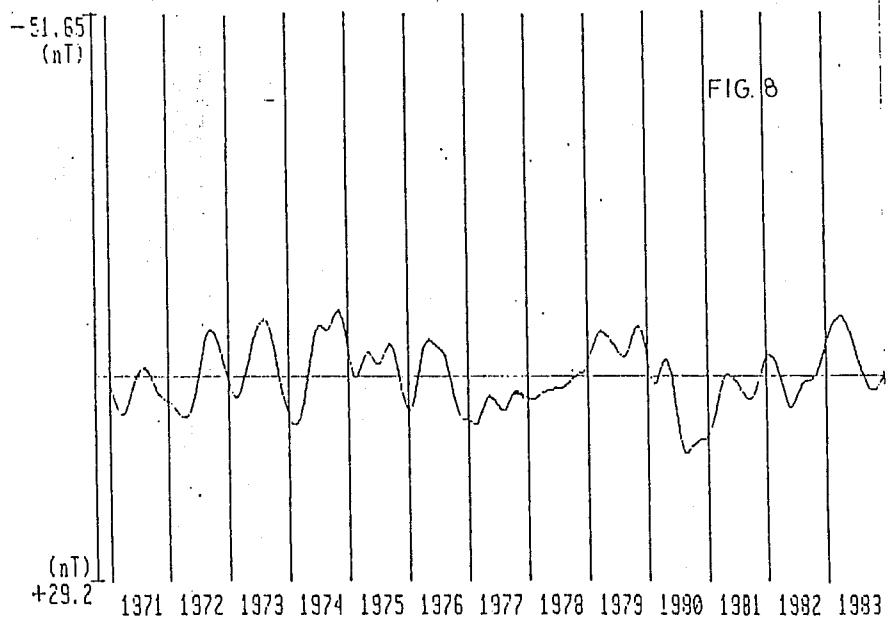


Por lo que resulta un modelo general de la forma:

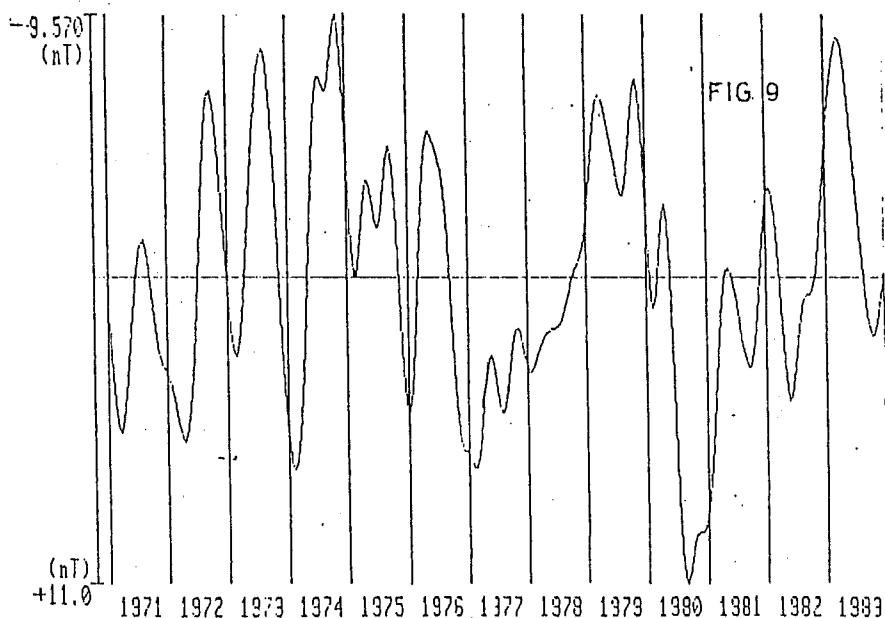
$$z(t) = [13476.944 + 0.575695t + 0.001616372t^2] \text{ (nT)} \quad (4)$$

En las figs. 8 y 9 se muestran las diferencias entre el modelo dado en la fórmula (4) y los datos filtrados, en dos escalas diferentes.

Componente Vertical - Curva de Diferencias Original-Modelo Filtradas



Componente Vertical - Curva de Diferencias Segundas Filtradas



PRONOSTICO DEL NRN.— Los datos analizados correspondientes al período 1971-1983, han dado origen a los modelos explicitados en las fórmulas (2), (3) y (4).

Con el objeto de estudiar la estabilidad en el tiempo de dichos modelos se actualizan los parámetros, incorporando al análisis 20 nuevos intervalos correspondientes al año 1984, resultando los modelos actualizados de la siguiente forma:

$$F(t) \text{ (nT)} = [24802.37 - 1.905844*t] \quad (5)$$

$$H(t) \text{ (nT)} = [20843.91 - 3.042492*t] \quad (6)$$

$$Z(t) \text{ (nT)} = -[13476.855 + 0.577985*t + 0.001607102*t^2] \quad (7)$$

De ésta manera es posible detectar cambios en el comportamiento del campo F_p y variaciones megacíclicas en F_v , contenidas en el NRN.

Las diferencias entre los modelos son prácticamente despreciables, comprobándose que al cabo de 20 intervalos de pronóstico en los modelos (2), (3) y (4), y los modelos actualizados con la misma cantidad de intervalos, dichas diferencias son menores a 5 nT en el peor de los casos, como se muestra en la tabla 2:

TABLA 2

VALOR PRONOSTICADO MEDIANTE MODELOS (2), (3) Y (4) PARA 20 INTERVALOS EN ADELANTE

<u>t</u>	<u>F(t)</u>	<u>H(t)</u>	<u>Z(t)</u>
332	24168.6 nT	19838.1 nT	-13846.2 nT

VALOR PARA $t=332$ MEDIANTE MODELOS ACTUALIZADOS (5), (6) Y (7) CON 20 INTERVALOS

<u>t</u>	<u>F(t)</u>	<u>H(t)</u>	<u>Z(t)</u>
332	24169.3 nT	19833.8 nT	-13845.9 nT

La estabilidad del modelo se ha mantenido en el lapso de 20 intervalos, por ende es posible pronosticar los valores del NRN para todo el año 1985 con una discrepancia del orden de 5 nT extendiéndose el análisis a 30 intervalos. En la tabla 3 se suministran los valores del NRN para los últimos 4 intervalos del año 1984 y los 24 del año 1985, utilizando los modelos actualizados dados en las fórmulas (5), (6) y (7).

De la presente manera se han obtenido modelos predictivos de adaptación continua en la determinación de los parámetros, que permiten evaluar en lapsos de 15 a 16 días el monto absoluto del NRN y de sus variaciones, que evidencian el comportamiento "secular" de F, H y Z y demás componentes del campo geomagnético.

TABLA 3
*** Año 1984 ***

<u>t</u>	<u>Quincuagésimo Intervalo</u>	<u>F(t) nT</u>	<u>H(t) nT</u>	<u>Z(t) nT</u>
333	21	24167.7	19830.8	-13847.5
334	22	24165.8	19827.7	-13849.2
335	23	24163.9	19824.7	-13850.8
336	24	24162.0	19821.6	-13852.5
*** AÑO 1985 ***				
337	1	24160.1	19818.6	-13854.2
338	2	24158.2	19815.5	-13855.8
339	3	24156.3	19812.5	-13857.5
340	4	24154.4	19809.5	-13859.2
341	5	24152.5	19806.4	-13860.8
342	6	24150.6	19803.4	-13862.5
343	7	24148.7	19800.3	-13864.2
344	8	24146.8	19797.3	-13865.9
345	9	24144.9	19794.3	-13867.5
346	10	24142.9	19791.2	-13869.2
347	11	24141.0	19788.2	-13870.9
348	12	24139.1	19785.1	-13872.6
349	13	24137.2	19782.1	-13874.3
350	14	24135.3	19779.0	-13876.0
351	15	24133.4	19776.0	-13877.7
352	16	24131.5	19773.0	-13879.4
353	17	24129.6	19769.9	-13881.1
354	18	24127.7	19766.9	-13882.9
355	19	24125.8	19763.8	-13884.6
356	20	24123.9	19760.8	-13886.3
357	21	24122.0	19757.7	-13888.0
358	22	24120.1	19754.7	-13889.7
359	23	24118.2	19751.7	-13891.5
360	24	24116.3	19748.6	-13893.2

CONCLUSIONES.- Del método propuesto surgen las siguientes conclusiones:

- Mediante observaciones absolutas realizadas en el lapso que va desde las 0 a 3 horas de tiempo local (3-6 hs. de tiempo universal), tomándose un índice de actividad geomagnética local $K \leq 1$, es posible generar una serie de tiempo de los elementos geomagnéticos, que representa la variación secular de dicho elemento y del NRN.
- Es posible aislar la variación anual y otros eventos de periodo mayor o igual al año.

- c) La elección en intervalos delimitados por el número estacional de Bartels es la adecuada para la representación de los fenómenos de variación anual y de mayor período.
- d) La aplicación de filtros ventana tipo Spencer, permite extraer la aleatoriedad propia de la serie de tiempo sin que se produzcan desfasajes.
- e) Además de las posibilidades dadas con un mínimo de observaciones absolutas (ítem (a)), el método brinda una forma efectiva de control de los siguientes procedimientos que se efectúan en todo observatorio magnético permanente y semi-permanente:
 - e.1) Determinación del valor de línea base o registros absolutos de los elementos.
 - e.2) Valores de escala.
 - e.3) Correcciones secundarias, tal como la de la temperatura.
 - e.4) Comparación entre las observaciones realizadas con inductor y magnetómetro de precesión protónica y las efectuadas con instrumental QHM y BMZ para corregir línea base, ya que al caracterizar el año con 24 valores del NRN se detectan las desviaciones respecto de los modelos de comportamiento, producto de eventuales anomalías de control o funcionamiento.
- f) La variación secular representada puede ser entonces modelizada por el NRN, y éste a su vez utilizarse como Nivel de Referencia para la corrección de los relevamientos geomagnéticos realizados en la Pcia. de Bs. As., dado en forma de una función simple y explícita.
- g) Las variaciones temporales de los parámetros de los modelos indican los cambios en sus formas directamente vinculados a cambios en la fuente interna del campo Fp, donde están contempladas las fuentes del núcleo y las posibles fuentes del manto, y la interacción núcleo-manto y manto-corteza, si existen.

BIBLIOGRAFIA.-

- CHAPMAN, S. and LINZEN, R. (1969).- Atmospheric Tides Space.- Science Review, vol. 10, nº 1.
- GIANIBELLI, J. C. et al. (1985).- Análisis Pluviométrico en La Plata, (1909-1983).
- KANE, R. P. (1976).- Geomagnetic Field Variation.- Space Science Review, vol. 18, nº 4.
- MERRIL, R. T. and McELHINNY, M. W. (1983).- The Earth's Magnetic Field.- Academic Press, N. Y.
- PARKINSON, W. P. (1983).- Introduction to Geomagnetism.- Scottish Academic Press.