

EL OBSERVATORIO MAGNETICO "AEROPUERTO LA PLATA:ALP"

Factibilidad e importancia de su instalación.

Julio Cesar Gianibelli

Servicio Meteorológico Nacional, SMN

Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas, UNLP.

geofisicogianibelli@yahoo.com.ar

INTRODUCCION. La red de Observatorios Magnéticos Permanentes (OMP) de la Republica Argentina en actividad esta operada por las siguientes instituciones: Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Instituto Antártico Argentino (IAA) y la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Los Observatorios en funcionamiento son los de Pilar (PIL; SMN), Las Acacias (LAS, UNLP), Cipolletti (CIP, SMN – UNLP), Trelew (TRW, UNLP), Islas Orcadas (ORC, SMN), y Base General Belgrano 2 (BB2, IAA). El OMP de La Quiaca (LQA, SMN) está en proyecto de reactivación. Esta red nacional se encuentra ampliada por los OMP de PST en Islas Malvinas y KEP en las islas Georgias del Sur instalados por el British Geological Survey y el de AIA en las Islas Argentinas (Península Antártica) operado por Akademik Vernadsky Base Ucrania. La Figura 1 muestra la ubicación de los OMP.

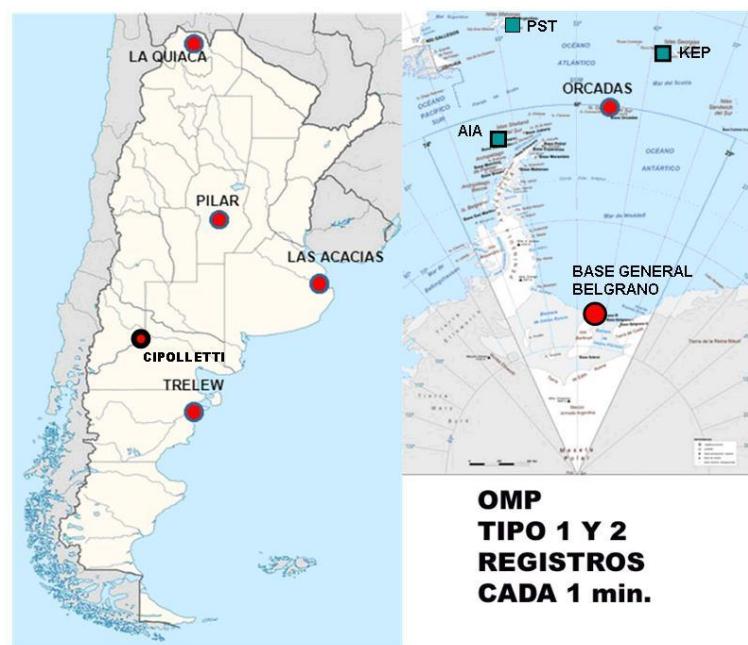
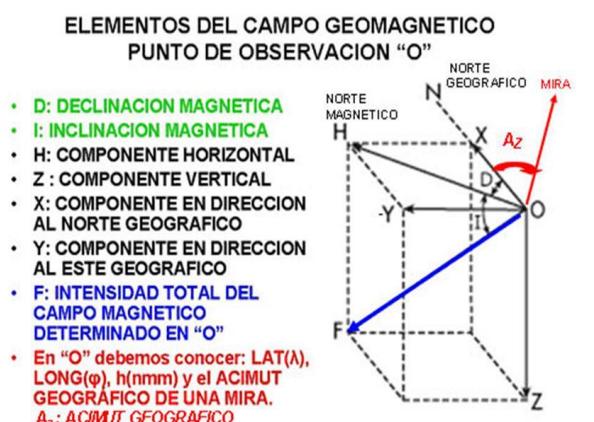


FIGURA 1

Los elementos Geomagnéticos se muestran en las figuras 2 y 3 con sus signos y relaciones funcionales.



$$H = F \cos I; \quad Z = F \sin I; \quad Z = H \tan I; \quad X = H \cos D; \quad Y = H \sin D$$

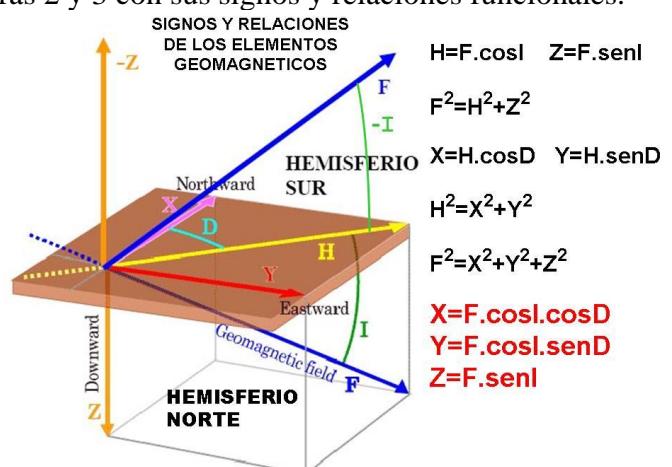


FIGURA 2

De la Figura 2 se deduce que los elementos geomagnéticos para ser evaluados en forma absoluta en su totalidad debe conocerse la Declinación Magnética en el punto de observación, siendo este ángulo el que indica la separación de los meridianos magnético y geográfico. El instrumental absoluto utilizado es un Teodolito no Magnético con una Sonda Fluxgate (DI-TFG) para la determinación de la Declinación e Inclinación Magnéticas y un Magnetómetro de Presión Protónica (PPM) para la determinación de la

intensidad total F del Campo Magnético Terrestre. (CMT). El instrumental que registra las variaciones del CMT respecto de una línea de referencia o base, (cada 1s o menos) se denomina Variómetro Triaxial, consistente en tres sondas Fluxgate XYZ ortogonales, orientadas según el meridiano geográfico o el meridiano magnético del lugar.

En las Figuras 4 se explicita la clasificación de los OMP, Estaciones Magnéticas de Repetición (EMR) y Estaciones Magnéticas Base (EMB), en la Figura 5 se presenta el instrumental de registro relativo (variómetro triaxial flux-gate), absoluto (ppm) y de observación DI-TFG absoluto, en la Figura 6 se indica el significado de un OMP y en la Figura 7 la función y misión de un variómetro.

OMP: OBSERVATORIO MAGNETICO PERMANENTE

TIPO1: REGISTRA TRES ELEMENTOS MAGNETICOS EN FORMA ABSOLUTA: XYZ, DIF, ZHD

TIPO2: REGISTRA SOLO F.

EMR: ESTACION MAGNETICA DE REPETICION
REGISTRA EN FORMA ABSOLUTA D,I,F EN UN PUNTO FIJO DE LA TIERRA PARA LA CONFECION DE CARTAS MAGNETICAS.

EMB: ESTACION MAGNETICA BASE

REGISTRA LAS VARIACIONES DE UNO (F) O MAS ELEMENTOS MAGNETICOS (D,I), CON LA FINALIDAD DE CORREGIR POR EL EFECTO DE LAS FUENTES EXTERNAS A LOS RELEVAMIENTOS.

FIGURA 4



FIGURA 5

¿QUE ES UN OBSERVATORIO MAGNETICO?

ES UN SISTEMA QUE REGISTRA EN FORMA ABSOLUTA UNO O MAS ELEMENTOS DEL CAMPO GEOMAGNETICO



FIGURA 6

VARIOMETROS

UNA VARIOMETRO ES UN INSTRUMENTOS QUE REGISTRA LAS VARIACIONES DE LOS ELEMENTOS DEL CMT EN EL TIEMPO EN UN PUNTO FIJO DE LA TIERRA RESPECTO DE UNA LINEA DE REFERENCIA DENOMINADA **LINEA BASE**. EL DESVIO RESPECTO DE Dicha **LINEA DE BASE** SE MIDE O DETERMINA EN UNIDADES METRICAS (mm) O EN UNIDADES ELECTRICAS (mV) Y POR MEDIO DEL **VALOR DE ESCALA**

(*E EN nT/mV PARA VARIOMETROS DE COMPUERTA DE FLUJO (FLUX-GATE) O S EN nT/mm PARA VARIOMETROS CLASICOS (DE REGISTRO CON PAPEL FOTOGRÁFICO)*) ENTONCES SE CONOCE LA MAGNITUD RELATIVA DE LA VARIACION.

VALOR DE ESCALA: ES EL VALOR INVERSO DE LA SENSIBILIDAD DEL SISTEMA.

LA LINEA DE BASE SE DETERMINA CON OBSERVACIONES ABSOLUTAS DE D, I (TEODOLITO FLUX GATE) Y DE F CON MAGNETOMETRO DE PRECESION PROTONICA (ppm).

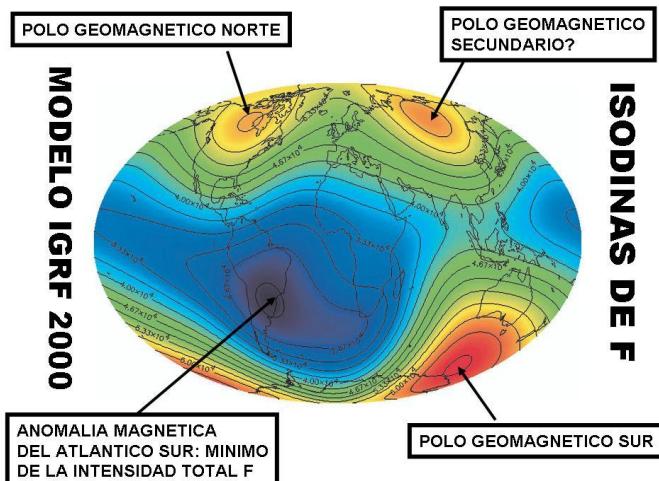
FIGURA 7

Es importante mencionar que los OMP de Las Acacias (LAS), Cipolletti (CIP) y Base General Belgrano 2 (BB2) son del TIPO 2 utilizando un PPM para el registro de la intensidad total F del CMT cada 1minuto los dos primeros y cada 5 minutos el tercero.

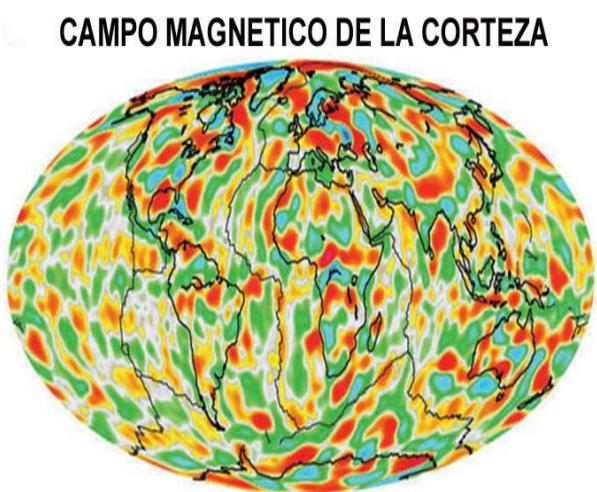
El objetivo de este proyecto de instalación de un OMP TIPO 2 en el predio de la Estación Meteorológica del Aeropuerto La Plata (ALP), se basa en una política de ampliar la red de OMP TIPO 2 con la finalidad de obtener registros cada 1minuto de F, en tiempo real, para su uso en la corrección de los relevamientos magnéticos para prospección, de los relevamientos de aplicaciones a estudios de tectónica, análisis de los fenómenos producidos por la conexión sol-tierra, y para el control de la evolución de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS) entre otras aplicaciones científicas de sus datos. Este OMP TIPO2 tiene también la posibilidad de convertirse en una EMR para el conocimiento de la evolución de todos los elementos del CMT y confeccionar con la red de EMR la carta geomagnética de la República Argentina. Como referencia general véase Mayaud P.N. 1967a, y 1967b, Campbell W.H. 1989, Jacobs J. A.1991. IAGA 1996a, y 1996b.

DESCRIPCION DE LOS FUNDAMENTOS DE LA INSTALACION. La experiencia obtenida por los OMP TIPO2 de LAS, BB2 y CIP, han permitido establecer que el registro de F depende de un óptimo control de su electrónica por parte del recurso humano especializado, de los registros de las variaciones absolutas y de una análisis comparativo con los demás OMP TIPO1 y 2. Los fundamentos a describir son los siguientes: Observacionales y Teóricos, Experimentales, Aplicativos, y Ubicación Geográfica e Instalación.

FUNDAMENTOS OBSERVACIONALES Y TEORICOS: Las observaciones históricas, y sus fenomenologías interpretadas descriptivamente y por modelos, permiten establecer las diversas fuentes de los campos magnéticos registrados. El Campo Magnético de la Tierra (CMT), denominado Campo Principal (CP), esta generado por una fuente llamada Geodínamo residente en el Núcleo Externo de la Tierra y el principio de generación esta dado por un proceso magnetohidrodinámico. Se manifiesta como principalmente dipolar con aportes de efectos multipolares en su difusión y comprobado por un análisis por armónicos esféricos. A este campo se le superpone el campo cortical (CC) de mucha menor intensidad que el CP. Es generado por las acumulaciones del material ferromagnético en la corteza terrestre cuya temperatura supera la de la isoterma de Curie. Se denomina Campo Propio al conjunto (CP+CC). El CP por tener mayor energía, se extiende a través del espacio interplanetario, en el cual interactúa con la atmósfera solar y sus perturbaciones, generándose una cavidad llamada Magnetosfera, atrapando en su interior las partículas que en su movimiento colectivo generan un sistema de corrientes equivalentes denominado Corrientes de la Magnetosfera, (CM). Sus efectos son variables y dependientes de la actividad solar. Otro sistema de corrientes equivalentes es el producido sobre la región de la atmósfera terrestre ubicada entre los 50 y 1000km de altura denominada Ionosfera, por la acción termo-ionizante generada por la radiación X y ultravioleta del Sol. A esta se le adiciona la acción gravitatoria (efecto de marea) del Sol y de la Luna. Este sistema de corrientes ionosféricas solares y lunares, (CSL) genera la llamada variación diurna solar-lunar. A los campos magnéticos de los sistemas de corrientes equivalentes residentes en la Magnetosfera e Ionosfera se lo llama campo externo, el cual produce fenómenos inductivos sobre las diferentes partes del planeta Tierra (Hidrosfera, Corteza y Núcleos Externo e Interno) y todas las estructuras conductoras creadas por el hombre. Por lo tanto en la superficie terrestre se tiene en cada observación absoluta de los elementos magnéticos el conjunto de los efectos de estas 5 fuentes. El porcentaje de cada uno de ellas es el siguiente: 93% campo principal (CP) generado por el geodínamo, 2% (CC) campo cortical, 4,47% campo generado por los sistemas de corrientes de la cavidad magnetosferita (CM), 0,5% generado por los sistemas de corrientes ionosféricas (CSL) y finalmente 0,03% corresponde al campo inducido (CI). Los aspectos teóricos se basan en que las fuentes que producen estos campos magnéticos pueden ser representadas a partir de un potencial escalar pues los puntos de observación están sobre la superficie terrestre. Las figuras siguientes son la representación de estas fuentes en su magnitud de la intensidad total para el CP (Figura 8) y el CC (Figura 9). Para las fuentes externas residente en la Magnetosfera (Figura 10) e Ionosfera (Figura 11) se muestran los sistemas de corrientes equivalentes. Particularmente se muestra el concepto de acoplamiento entre el campo magnético que arrastra el viento solar con CMT entre la onda de choque y la magnetopausa (figura 10) y de reconexión entre los sistemas de las CM y los de la CSL y sus particularidades en las regiones polares con sus electrochorros polares norte y sur y por otra parte el electrochorro ecuatorial (Figura 11).

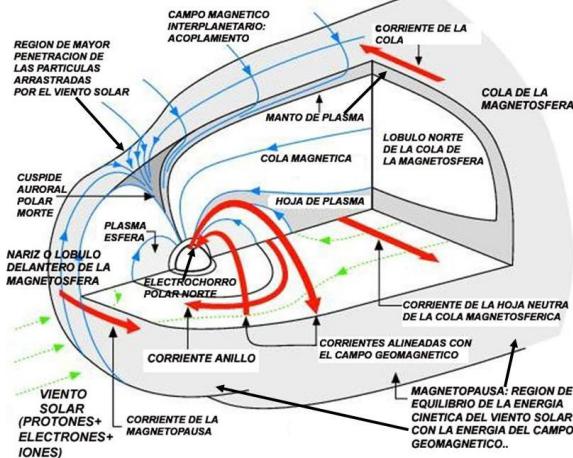


CP: FIGURA 8

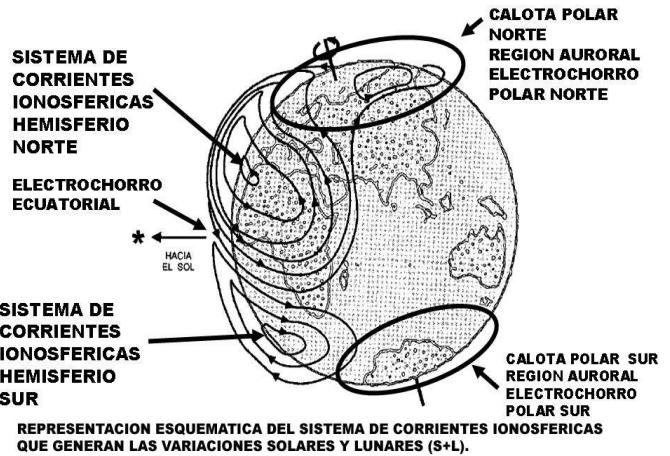


CC: FIGURA 9

CORRIENTES DE LA MAGNETOSFERA



CM: FIGURA 10



CSL FIGURA 11

Otro aspecto teórico basado en el análisis de la actividad de los procesos de un sistema general se aplica y desarrollan en distintos tipos de índices geomagnéticos K_p , Dst , AE etc. Sin embargo representan efectos de los campos externos regionales, debido a los elementos geomagnéticos registrados para su determinación los cuales poseen singularidades tal como la declinación D en las regiones polares, o la componente horizontal que es nula en los polos magnéticos ($Z=F$) o es igual a la intensidad Total F en el ecuador magnético ($H=F$). Para ello se desarrolla un índice que utilice un elemento geomagnético medible sobre toda la superficie terrestre, con instrumental de bajo costo y a lo cual el ppm cumple ese requerimiento. Este índice ya probado para el intervalo diario es el denominado $P1F$. Los índices tri-horario $KF3h$ y horario $kF1h$ tienen una metodología en su determinación como la de los índices k y K_p . En forma similar se aplica la técnica para determinar el Dst con el elemento geomagnético F que se denomina $DFst$. Este índice mide el efecto de la corriente anillo a la que se le sustraiga el efecto de los sistemas de las corrientes ionosféricas solares y lunares calmas. Las regiones polares por el contrario poseen características propias de acoplamiento ionosfera – magnetosfera, diferentes en las calotas sur y norte, pues la migración de los polos magnéticos y geomagnéticos son diferentes. De ello y debido a que en el hemisferio sur la distribución de los OMP es asimétrica respecto del polo geomagnético sur y solo el hemisferio norte tiene una red específica para la determinación del índice AE , del cual no se confecciona uno similar con F . La instalación del OMP TIPO 2 en el aeropuerto La Plata permitirá fundamentar en tiempo real la forma de observar los eventos de fuentes de origen interno y externo y su evaluación por medio de los índices $P1F$, $kF3h$ y $kF1h$.

FUNDAMENTOS EXPERIMENTALES: Las características de un OMP TIPO 1 involucra los aspectos mencionados en la Figura 6 (recuadro en verde) siendo estos aspectos determinantes y fueron los que originaron que en el OMP de LAS se transforme en tipo 2 cuando se detectaron problemas tecnológicos de los sistemas de registro analógico y en los magnetómetros absolutos de suspensión unifilar. Se inicio el registro entonces de la intensidad total F del CMT en el año 1993 como EMR en el mismo predio de LAS. Los resultados fueron de varios tipos: A) Se continuo con el control de evolución de la SAMA. B) Se pudo continuar con la determinación de la variación diurna quieta y/o calma y con el registro cada 1 minuto de tormentas geomagnéticas y relacionarlas con TRW. C) Se iniciaron las actividades para el diseño de un índice que utilice la intensidad total F del CMT para determinar los días calmos mediante un criterio basado en que el mes calendario es un intervalo arbitrario. Esta experiencia fue aplicada al OMP TIPO1 de TRW primero y se comprobó mediante el diseño del índice $P1F$, el límite para actividad calma o quieta resultó ser de $700nT$. Se verificó que los 5 días Q mensuales que la IAGA publica no lo son, al compararlos en meses de diferentes años (Figura 12). Luego se aplicó este criterio a los OMP de LAS, HER, KOU, HUA y VSS y se obtuvo los límites del $P1F(nT)$ en cada uno de ellos (Figura 13) para ser calificados como calmos. Es necesario agregar que un día Q se determina a través del índice trihorario Kp relacionado con la amplitud o rango de la variación en cada 3 horas de un conjunto de 10 OMP ubicados en el hemisferio norte y 2 en el sur. (Mayaud 1980; Gianibelli et. al. 2015). Los máximos de las escalas de rangos son variables según la ubicación geográfica de los OMP. En la Figura 13 se muestra los límites de actividad diaria $P1F$ según el OMP se encuentre en la región ecuatorial o en latitudes medias. Es muy importante notar que el OMP de

HUA tiene un límite de 2100nT como cota de separación de actividad calma a no calma y esto se debe a que el mismo esta en la región gobernada por el electrochorro ecuatorial que amplifica las variaciones producidas por la conjunción de los sistemas de corrientes ionosféricas del hemisferio norte y sur (Ver Figura 11). Esto se manifiesta en la amplitud de la intensidad total F de la variación diurna (S+L) calma que es casi 5 veces la de LAS=20nT (Ver Apéndice I)

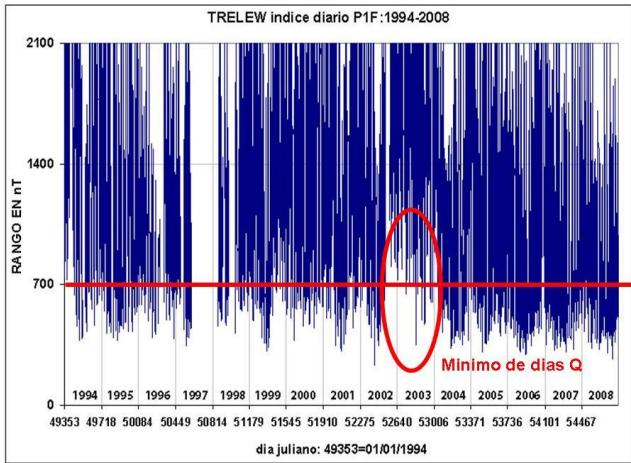


FIGURA 12

La más importante concepción de día Q versus día calmo es el intervalo utilizado por el índice P1F lineal, sin criterios dudosos. Sin embargo para otras disciplinas tales como la Climatología Espacial la Administración Nacional de la Atmósfera y el Océano (NOAA, EEUU) utiliza otra red de OMP para evaluar su índice Kp siendo estos los siguientes: Boulder (Colorado); Chambon la Foret (France); Fredericksburg (Virginia); Fresno (California); Hartland (UK); Newport (Washington) y Sitka, (Alaska), todos en el hemisferio norte. Esta red proporciona una calificación al intervalo trihorario con fines de evaluar el efecto de inducción de todos los sistemas de corrientes residentes en la magnetosfera e ionosfera cuando hay tormentas geomagnéticas. Las razones son de importancia ya que estos sistemas de corrientes inducidas geomagnéticamente afectan la las grandes redes de transmisión de corriente eléctrica produciendo grandes apagones y a las grandes cañerías que transportan fluidos afectando su sistema de protección catódica, en Estados Unidos, Canadá y los yacimientos del mar del norte principalmente. Las Figuras 14 y 15 muestran las diferencias de las regiones polares norte y sur. La posición de los óvalos aurorales están directamente vinculados con los sistemas de corrientes alineadas con el CMT, centrados en el polo magnético el cual es diferente al geomagnético, mientras que la Tabla 1 muestra la clasificación de las tormentas por la NOAA.

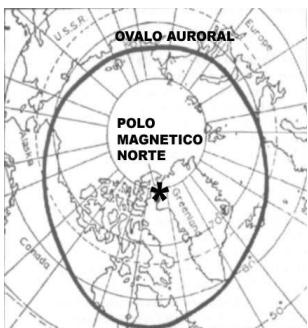


FIGURA 14



FIGURA 15

VALOR LIMITE (EN nT) PARA LOS DIAS CALMOS y DIAS Q SEGUN INDICE P1F

$$P1F_{DIARIO} = \sum_{j=1}^{1440} |F(t_j) - \langle F_{1h}(t_j) \rangle|$$

Formula a aplicar a un dia de registro digital cada 1 min. 1DIA=1440 min.

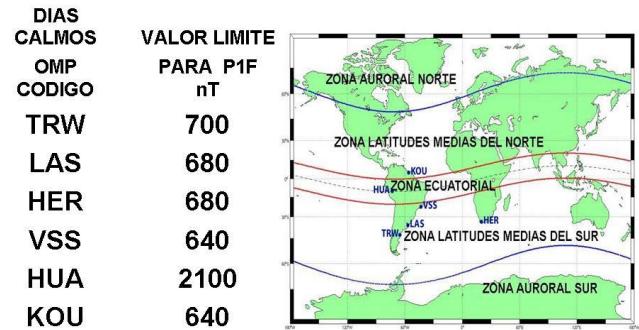


FIGURA 13

Kp	NOAA	Estado
Kp = 0	Sin tormenta	Campo geomagnético inactivo (?)
Kp = 1	Sin tormenta	Campo geomagnético muy tranquilo
Kp = 2	Sin tormenta	Campo geomagnético tranquilo
Kp = 3	Sin tormenta	Campo geomagnético intranquilo
Kp = 4	Sin tormenta	Campo geomagnético activo
Kp = 5	G1	Tormenta geomagnética menor
Kp = 6	G2	Tormenta geomagnética moderada
Kp = 7	G3	Tormenta geomagnética mayor o fuerte
Kp = 8	G4	Tormenta geomagnética severa
Kp = 9	G5	Tormenta geomagnética muy severa

TABLA 1

A esta finalidad “polo magnético” es aquella región donde F es máxima y la inclinación $I = \pm 90^\circ$ mientras que “polo geomagnético” es aquel que corresponde al determinado por el Modelo Internacional Geomagnético de Referencia (IGRF) y corresponde al aporte del orden 1, del desarrollo en esféricos armónicos (IGRF) que corresponden al efecto de un dipolo centrado. El desarrollo en esféricos armónicos del IGRF es hasta el orden 10. En este desarrollo y en el Modelo Magnético Mundial (WMM – producido por el BGS) también intervienen los OMP TIPO2, proporcionándose los datos de LAS, CIP y el propuesto ALP. Al ser estos dos polos diferentes, desde el conocimiento de las observaciones magnéticas y de sus modelos, muestran actividades internas diferentes para las cuales no existe un índice que las represente. Las

Figuras 16 y 17 muestran la evolución de ambos polos tanto para el polo norte como el sur. La figura 18 es un resumen de los aportes de las fuentes, y sus períodos característicos correspondientes a los de origen externo y sus variaciones y a los de origen interno y sus variaciones correspondientes a su generador “el geodinamo”.

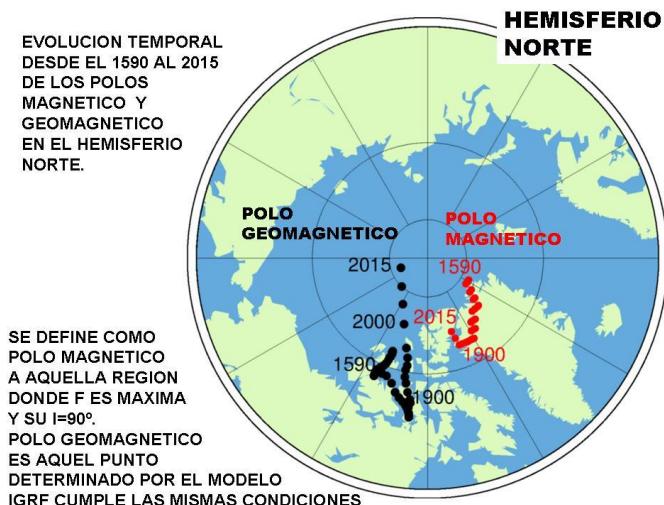


FIGURA 16

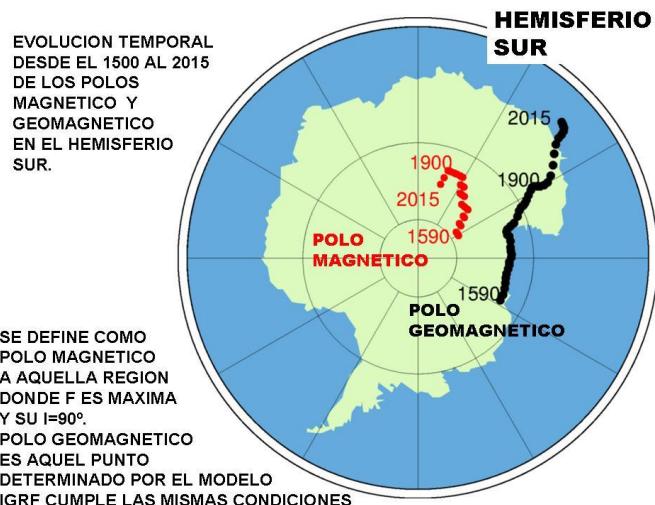


FIGURA 17

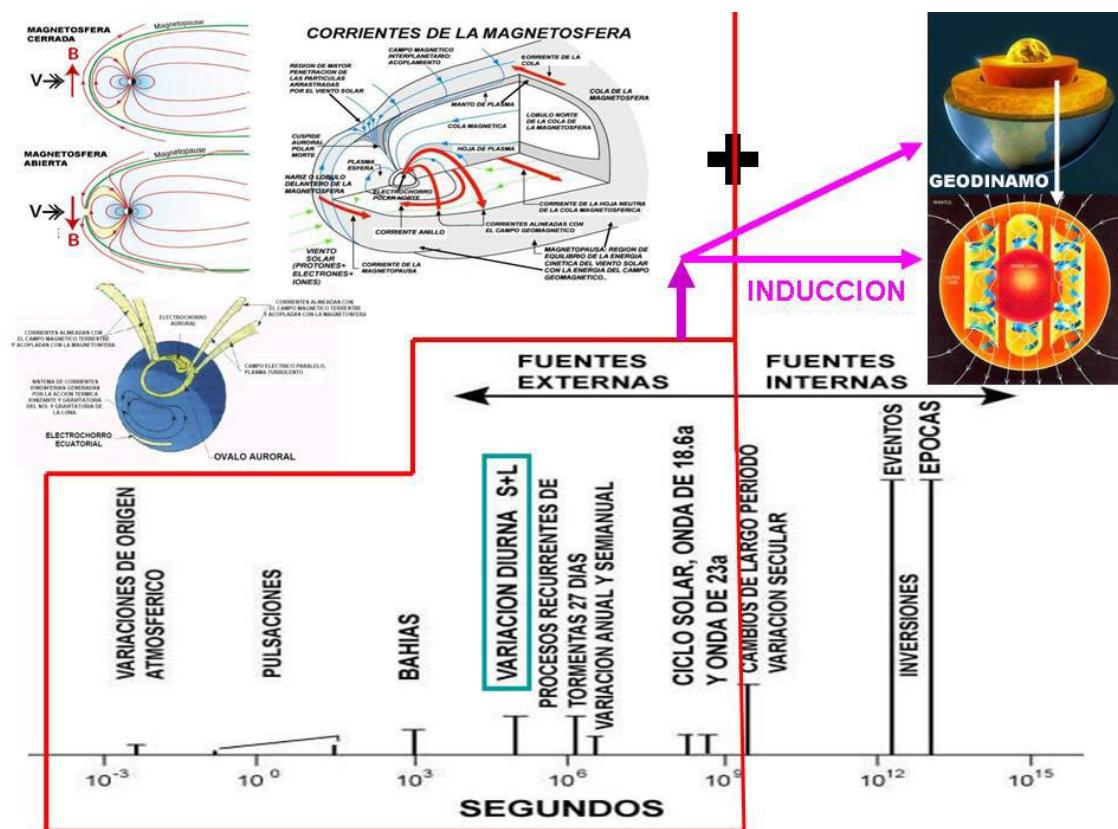


FIGURA 18

En los estudios realizados en las investigaciones de las fuentes de origen interno, la tendencia anual (llamada también variación “Secular”), es de importancia a los fines de determinar las regiones anómalas tal como la AMAS. Uno de los aspectos experimentales que se realizaron con los valores medios anuales de la intensidad total F del CMT, sobre la red de OMP TIPO 1 y 2 ubicados en la SAMA (Figura 19), permiten establecer la tendencia anual por un ajuste lineal de los mismos. En la Tabla 2 se describen los OMP, su sigla, sus coordenadas, tendencia nT/año (variación secular), y se predice el año cuando F será casi nulo. Esto comprueba la forma de cambio anual de las regiones involucradas en grandes anomalías establecidas por medio del modelo IGRF entre 1900 y 2010 (Figura 20) y que se profundiza en el 2015 como se muestra

en la Figura 21 donde se presenta las curvas isóporas. La Figura 22 presenta las isodinas producidas el IGRF 2015 y agregadas las direcciones de posibles cambios en el futuro de la SAMA donde en la Tabla 2 se indica como predicción.

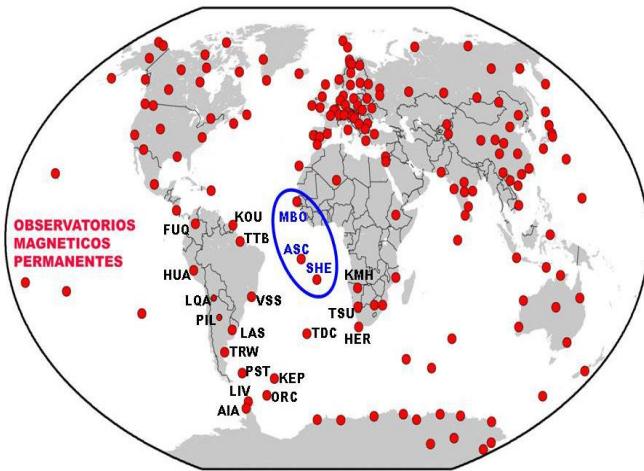


FIGURA 19

CÓDIGO	NOMBRE DEL OMP	LAT	LONG	h snmm	ΔF nT/año	AÑO F=0nT
MBO	MBOUR	14° 12'	343° 03'	7	+12.046	AUMENTA F
FUQ	FUGUENE	5° 28'	286° 16'	2543	-86.724	2367
KOU	KOURU	-5° 13'	307° 17'	10	-69.053	2434
TTB	TATUOCA	-1° 12'	311° 29'	10	-64.419	2406
HUA	HUANCAYO	-12° 03'	284° 40'	3312	-56.924	2485
LQA	LA QUIACA	-22° 06'	294° 24'	3450	-48.547	2486
VSS	VASSOURAS	-22° 24'	316° 21'	457	-24.020	2977
PIL	PILAR	-31° 40'	296° 07'	336	-55.775	2422
LAS	LAS ACACIAS	-35° 00'	302° 19'	17	-43.815	2538
TDC	TRISTAN DA CUNHA	-37° 20'	347° 41'	42	-53.107	2479
KMH	KEETMANSHOOP	-26° 32'	18° 07'	1065	-60.200	2464
TSU	TSUMEB	-19° 12'	17° 35'	1100	-56.468	2534
HER	HERMANUS	-34° 25'	19° 14'	26	-102.980	2255
TRW	TRELEW	-43° 16'	297° 17'	15	-65.725	2404
PST	PORT STANLEY	-51° 42'	302° 06'	135	-66.434	2443
KEP	KING EDUARD POINT	-54° 17'	323° 30'	7	-66.200	2437
ORC	ISLAS ORCADAS	-60° 44'	315° 13'	3	-108.460	2308
LIV	ISLAS LIVINGSTON	-62° 40'	299° 36'	19	-82.385	2440
AIA	ISLAS ARGENTINAS	-65° 15'	295° 45'	10	-96.392	2410
ASC	ISLA ASCENCION	-7° 57'	345° 37'	177	+35.419	AUMENTA F
SHE	ISLA SANTA HELENA	-15° 57'	354° 16'	586	+18.100	AUMENTA F

TABLA 2

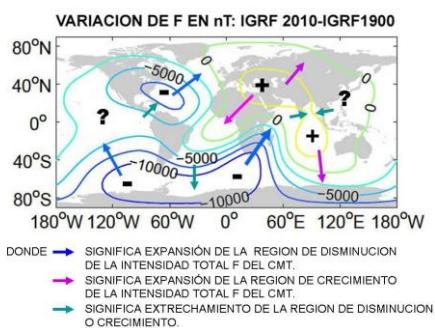


FIGURA 20

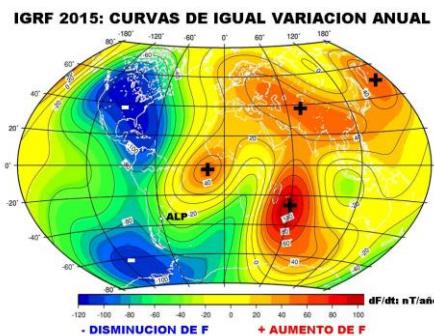


FIGURA 21

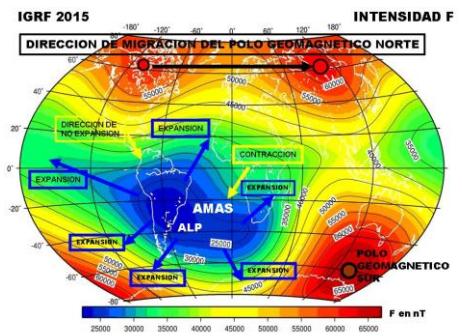


FIGURA 22

Estos resultados conducen a considerar que la instalación del OMP TIPO2, es de fundamental importancia para dar un aporte en tiempo real sobre la evolución de los fenómenos de la SAMA.

FUNDAMENTOS APlicativos. Las determinaciones de los registro de F son de aplicación a la actividad industrial petrolera de suministro de esos registros para la corrección de los relevamientos geomagnéticos de tierra aéreos y marinos. Esta actividad es desarrollada por medio de los OMP de TRW y LAS. También en estudios de determinación sobre los efectos de corrientes parasitas engendradas por los sistemas de Corrientes Inducidas Geomagnéticas, sobre grandes cañerías de transporte de gas y petróleo para la determinación de los efectos de la corrosión. De la misma manera las sobrecargas en las líneas de alta tensión. La Figura 23 muestra conceptualmente esta fenomenología.

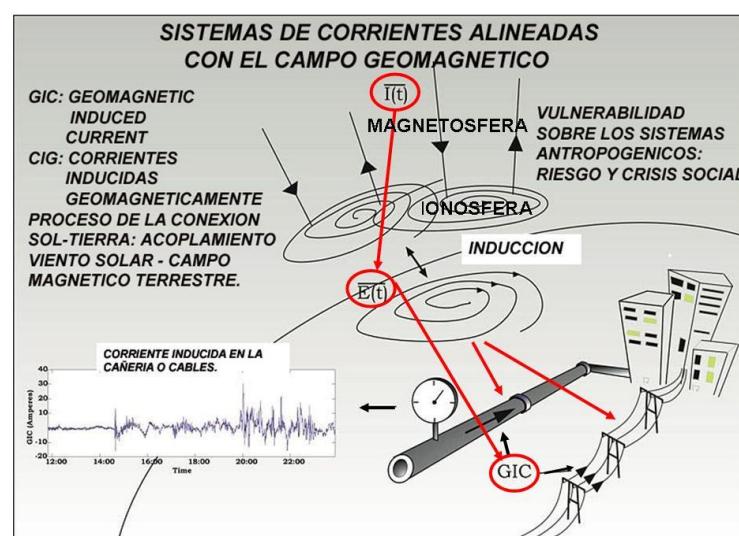


FIGURA 23

Otra aplicación es la utilidad del sistema en línea para la identificación de la actividad del CMT por medio de un índice horario o trihorario para identificar el estado de actividad ionosférica y magnetosférica. El registro digital de F cada 1 minuto permite esa utilidad con índices cuya metodología es similar a la utilizada para la determinación del índice k y Kp. La generación de los rangos de actividad se pueden tomar similares al Kp o generar para cada OMP el rango para el índice k, Tabla 3. El índice P1F_{DIARIO} es el primer índice que calcula la actividad diaria y su clasificación, en forma lineal en cualquier OMP TIPO 1 y 2 sin necesidad de establecer rangos previos. Los índices derivados P1F3H y P1F1H y su metodología de cálculo se presentan en la Tablas 4, 5 y su resumen en TABLA 6. La Figura 24 muestra comparativamente los resultados de la actividad del CMT cada 3h para una tormenta registrada en los OMP de PIL, TRW, y ORC dado por kF3h, Kp determinado en Boulder (NOAA, Tabla 1), y P1F3H.

RANGO EN nT TRIHORARIO DE F PARA DETERMINAR EL INDICE kF3h							
kF3h	VSS	PIL	TRW	PST	KEP	ORC	AIA
0,0	2,9	3,1	3,4	3,7	4,1	4,5	4,9
1,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,1	7,8	8,5
2,0	8,7	9,5	10,4	11,4	12,5	13,7	15,0
3,0	15,3	16,7	18,3	20,0	21,9	23,9	26,2
4,0	26,7	29,2	32,0	35,0	38,2	41,8	45,8
5,0	46,7	51,1	55,9	61,2	66,9	73,2	80,1
6,0	81,7	89,4	97,8	107,0	117,0	128,0	140,0
7,0	143,0	156,4	171,1	187,1	204,7	223,9	245,0
8,0	250,1	273,6	299,3	327,4	358,1	391,7	428,5
9,0	437,4	478,5	523,5	572,6	626,4	685,2	749,6

RANGO (nT) en cada OMP=[2.6075·exp(0.5592·kF3h)]/cos(<igrf(l)>₁₉₀₀₋₂₀₂₀)
Donde l es la inclinación promedio del CMT determinada por el igrf para cada OMP en cada año entre 1900 y 2020.

TABLA 3

INDICE GENERICO kFnh: kF3h; kF1h
SE DETERMINA EL RANGO EN INTERVALOS 3h y 1h
RANGO 3h = MAX [F(1≤t_j≤180)] – MIN [F(1≤t_j≤180)]
RANGO 1h = MAX [F(1≤t_j≤60)] – MIN [F(1≤t_j≤60)]
LA TABLA Y FUNCION DE EQUIVALENCIA DEL RANGO DEL INDICE kF1h SERA PARTICULAR DE CADA OMP MEDIANTE UNA TRANSFORMACION DE EQUIVALENCIA DE LA DIFERENCIA ENTRE Δ=[kF3h(t_{j+1}) – kF3h(t_j)] CORRIDO EN 1 HORA CON EL RANGO OBSERVADO PARA EL INDICE kF1h y EL INDICE P1F1H.

Otra metodología es la suma de tres rangos consecutivos de kF1h y relacionarla mediante una función de ajuste con el rango kF3h evaluado en forma consecutiva cada 1h.

INDICE GENERICO P1Fkh (P1F_{DIARIO}; P1F3H; P1F1H)

$$P1F_{\text{INTERVALO DE } K \text{ MUESTRAS}} = \sum_{j=1}^K |F(t_j) - \langle F_{kh}(t_j) \rangle|$$

LA FORMULA INDICA QUE PARA:
a) P1F_{DIARIO}: K=1440min CON kh=60min DEBIENDO TENER 30 MINUTOS ANTES Y DESPUES DEL DIA SELECCIONADO
b) PARA P1F3H: K=180min CON kh=60min CENTRADO EN CADA 3 HORAS. PUEDE CALCULARSE CORRIDO CADA HORA ENTERA.
c) PARA P1F1H: K=60min CON kh=60min CENTRADO EN CADA HORA. SU VALOR ES ESPECIFICO PARA CADA OMP.
PERMITE ESTABLECER INTERVALOS DE ACTIVIDAD CALMA O QUIETA VERIFICAR SI UN DIA ES QUIETO REALMENTE O SU ELECCION ES ARBITRARIA.
SERIES LARGAS DE F(t) CADA 1 MINUTO PERMITEN ESTABLECER EL RANGO O VALOR EN nT MAXIMO PARA LA CALIFICACION DE CALMO VER FIGURA 13

TABLA 4

TABLA 5

INDICES SOBRE LOS REGISTROS DE F(t) PARA REGISTROS CADA 1minuto

RESUMEN:

P1F_{kt} BASADO EN LA FORMULA $P1F_{\text{INTERVALO DE } K \text{ MUESTRAS}} = \sum_{j=1}^K |F(t_j) - \langle F_{kh}(t_j) \rangle|$
Con intervalo de muestras dado por kt=DIARIO; 3H y 1H.

Definición del rango:

RANGO 3h = MAX [F(1≤t_j≤180)] – MIN [F(1≤t_j≤180)]

Sobre F(t) registro crudo: es aquel registro donde se filtraron los pulsos parásitos previamente. Los índices kF3h y kF1h corrido cada 1h son según las escalas para cada OMP TIPO1

RANGOS EN nT PARA DETERMINAR LA ACTIVIDAD							
kF3h	VSS	PIL	TRW	PST	KEP	ORC	AIA
0	2,9	3,1	3,4	3,7	4,1	4,5	4,9
1	5,0	5,5	6,0	6,5	7,1	7,8	8,5
2	8,7	9,5	10,4	11,4	12,5	13,7	15,0
3	15,3	16,7	18,3	20,0	21,9	23,9	26,2
4	26,7	29,2	32,0	35,0	38,2	41,8	45,8
5	46,7	51,1	55,9	61,2	66,9	73,2	80,1
6	81,7	89,4	97,8	107,0	117,0	128,0	140,0
7	143,0	156,4	171,1	187,1	204,7	223,9	245,0
8	250,1	273,6	299,3	327,4	358,1	391,7	428,5
9	437,4	478,5	523,5	572,6	626,4	685,2	749,6

RANGOS PARA CIP IGUAL QUE TRW PARA LAS Y ALP IGUALES QUE PIL. PARA FUTUROS OMP TIPO 2 COMO USH (USHUAIA) IGUALES A KEP. LA QUIACA (LQA) COMO VSS.

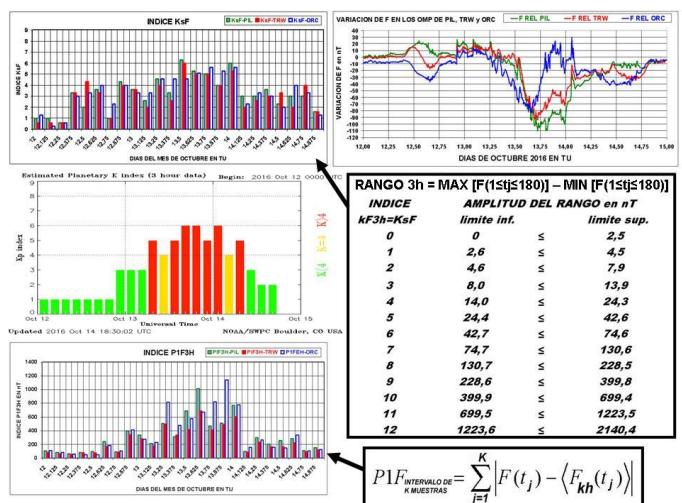


TABLA 6

FIGURA 24

Estas metodologías son posibles implementarlas en línea en el OMP de ALP, obteniéndose una aplicación importante para tener información sobre fenómenos de relacionadas con la actividad climática espacial y sus efectos magnetosféricos.

Otra de las importantes aplicaciones relacionado con lo expuesto en los fundamentos observacionales y teóricos es el aporte al control evolutivo de la AMAS por el OMP ALP en forma continua y en especial con datos de los niveles de menor actividad geomagnética denominado Nivel de Referencia Nocturno (NRN) de días quietos (IAGA) y calmos (P1F_{DIARIO}). El NRN de los días quietos y calmos, es el mejor valor para determinar los promedios mensuales para posteriores estudios de la variación anual y semianual, como también las variaciones de origen interno ya que el NRN es determinado en tiempo local. Al tener el OMP de ALP la propiedad de estar en línea es posible conocer el rango de variación cada hora y cada tres horas lo que implica conocer la actividad como así mismo aplicando la formulación para el índice P1F3H y P1F1H. Véase Tabla 6.

En las Figuras 25, 26 y 27 se muestran la evolución de la AMAS y su estado predictivo para el año 2100 utilizando los OMP desde el casquete polar norte cruzando el continente de America del Norte, Central y Sur y Finalizando en los OMP Antárticos. Las Figuras 28 y 29 muestran la variación Sq+L para Julio de 2016 y Enero 2017 de los OMP PIL, LAS, CIP, TRW, y ORC con el fin de determinar su amplitud. La metodología

utilizada consistió en extraer la variación no cíclica y restar el primer valor absoluto para sustraer la tendencia de origen interno y residuos de corrientes magnetosféricas.

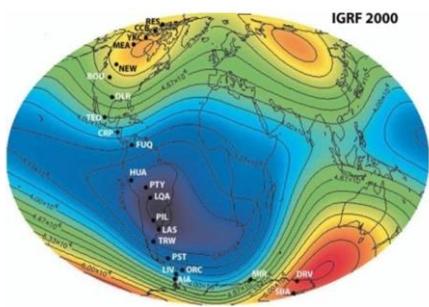


FIGURA 25

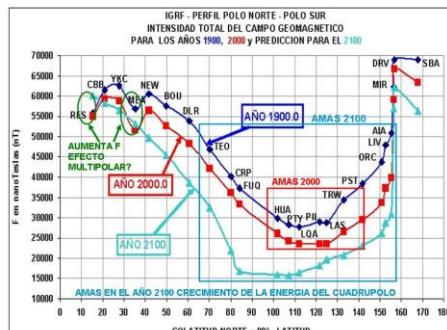


FIGURA 26

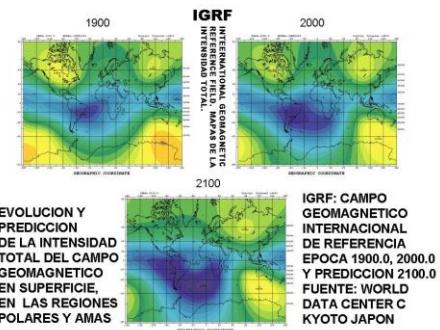


FIGURA 27

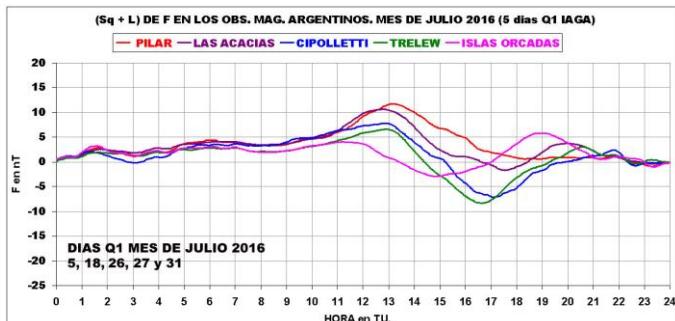


FIGURA 28

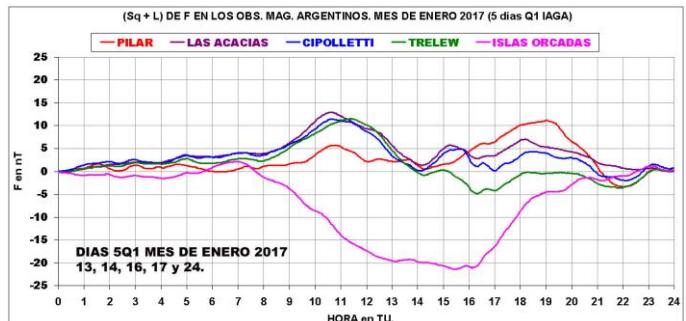


FIGURA 29

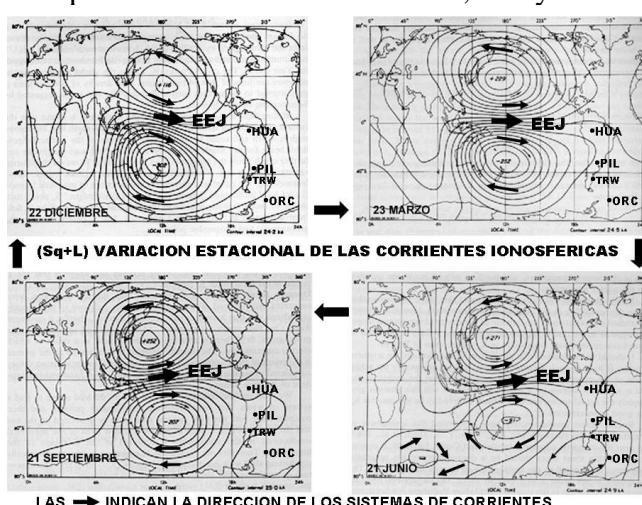


FIGURA 30

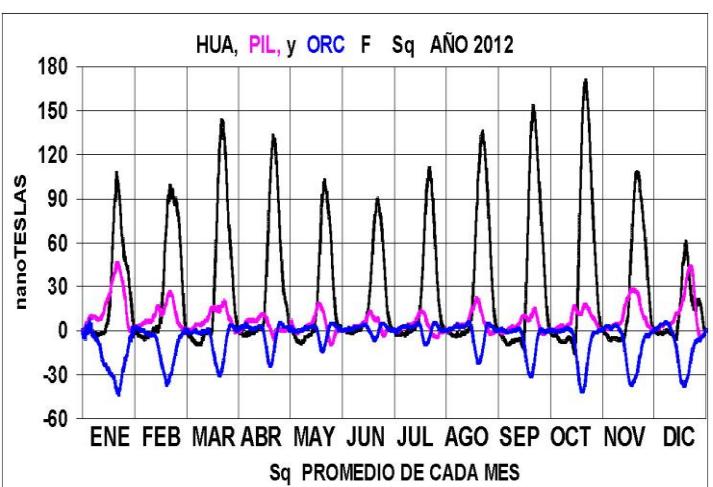


FIGURA 31

Un aspecto importante se deduce de la Figuras 29, 29 y 31 de aplicación al OMP de ALP consistente en:
 1) Por su ubicación geográfica elegida su Sq+L tendrá valores muy semejantes a LAS con amplificaciones semejantes a PIL cuando el registro se encuentre en el máximo de actividad del Ciclo Solar , como es el caso del año 2012. La Figura 31, muestra la modulación anual y semianual.

2) La ubicación de ORC muestra el efecto del SCI tiene dirección opuesta a la que se tiene por sobre el foco en cada mes particular de cada estación del año por ello el máximo es de valor negativo.

3) Para una hipotética instalación de un OMP TIPO 2 en LQA (La Quiaca) y USH (Ushuaia) y Formosa, la temática expuesta y justificación es ampliamente valida y fundamental

Otra consideración es el conocimiento de las tormentas geomagnéticas registradas y su amplitud detectada en la intensidad total F del CMT que revelan en forma directa la intensidad de las CIG, y cuyas morfologías están relacionadas con el índice Dst el cual es operativamente inapropiado para una detección directa del

efecto de la mismas, pues su resultados no son en forma directa y su metodología de calculo de la variación Sq es pobre e inadecuada. (Ver Figura 35 donde se indica la posición de los OMP para el índice Dst). Las Figuras 32, 33 y 34 muestran la misma tormenta registrada en el mes de Diciembre de 2015 en los OMP de PIL, LAS, CIP, TRW, ORC y BB2, (Ver Figura 1 para su ubicación), indicándose la amplitud pico a pico de la misma a los fines comparativos.

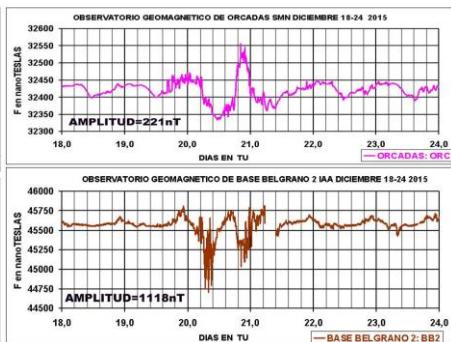
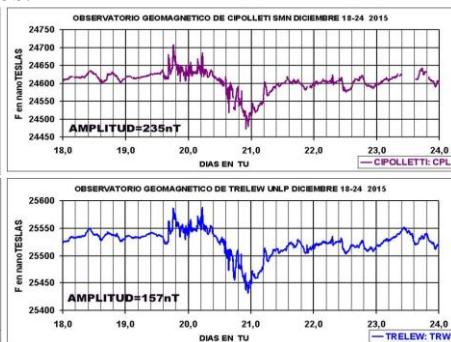
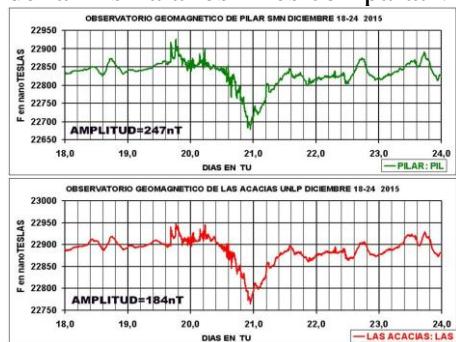


FIGURA 32

FIGURA 33

FIGURA 34

En estos registros absolutos se tiene todos los aportes de las fuentes del CMT, internas, externas e inducidas. Siendo que las tormentas geomagnéticas son la respuesta del acoplamiento Viento Solar – Magnetosfera - Ionósfera y que existe además un acoplamiento entre los sistemas de corrientes ionosféricas y las magnetosféricas se presenta en las Figuras 35, donde se indican la posición de los OMP para la determinación de los índices AE, Dst y Kp y la Figura 36 donde se grafica para el hemisferio norte el acoplamiento Ionósfera-Magnetosfera.

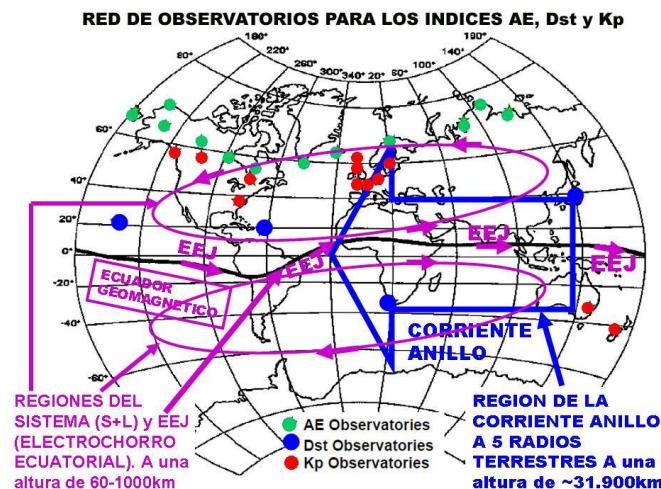


FIGURA 35

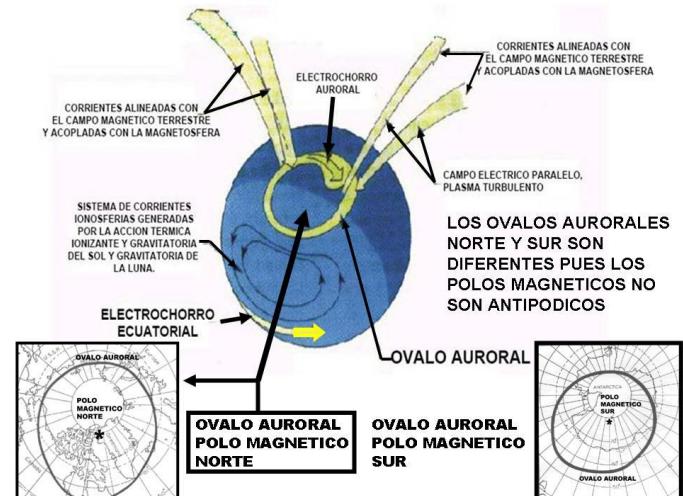


FIGURA 36

UBICACIÓN GEOGRÁFICA E INSTALACIÓN. La Estación Meteorológica ubicada en el Aeropuerto La Plata es el lugar elegido para la instalación del OMP ALP (Aeropuerto La Plata), como se muestra en la Figura 37 y su relación con el OMP de LAS.

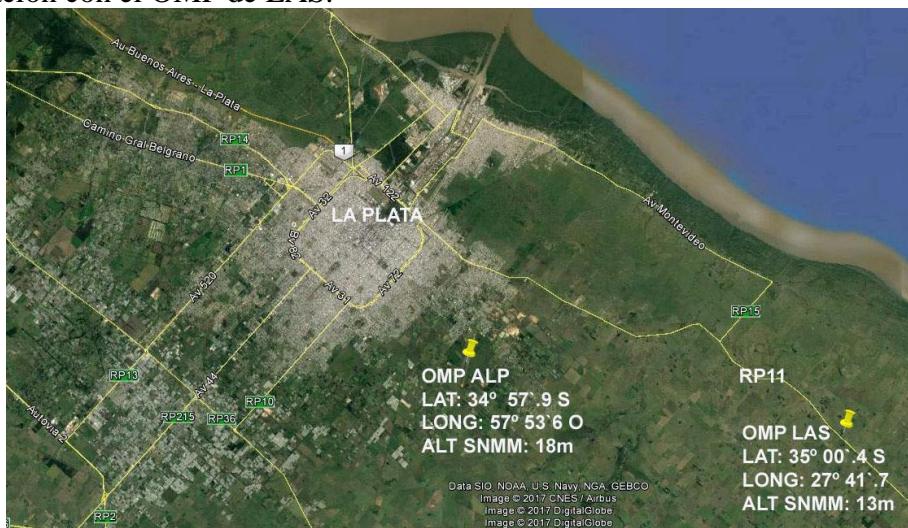


FIGURA 37

La Figura 38 muestra las instalaciones existentes, la ubicación del ppm y dos pilares más para que el sistema OMP ALP pueda ser usado como una EMR. La Figura 39 muestra la ubicación del ppm en su ubicación de registro en un estudio de comparación de registros simultáneos con el ppm del OMP de LAS.

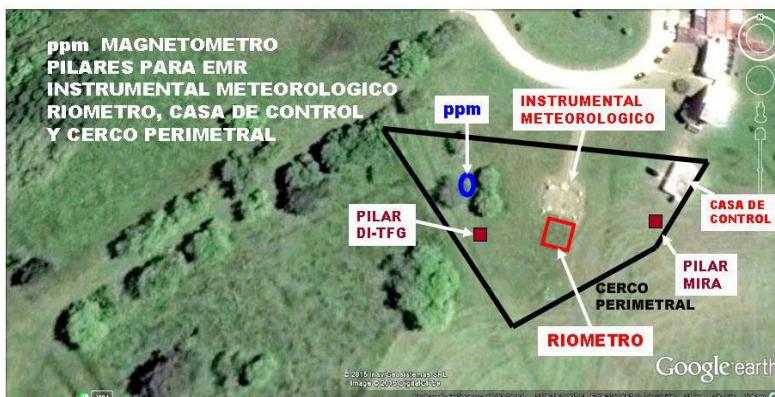


FIGURA 38



FIGURA 39

La Figura 40 muestra el concepto de EMR para la cual es factible la utilización del OMP de ALP como EMR.

**EL OMP ALP COMO UNA EMR PARA
LA REPUBLICA ARGENTINA CONCEPTOS BASICOS**

OBJETIVO: CONOCER LA DISTRIBUCION ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS ELEMENTOS MAGNETICOS DE DECLINACION (D), INCLINACION (I) E INTENSIDAD TOTAL DEL CMT (F) EN FORMA ABSOLUTA

DISEÑO DE LA RED: SE SELECCIONARAN LUGARES FISICOS QUE SE ENCUENTREN EQUIDISTANTES ENTRE ELLOS Y DE FACIL ACCESO POR EJEMPLO AEROPUERTOS Y/O ESTACIONES METEOROLOGICAS. EN CADA LUGAR SE REALIZARA UN MICRORELEVAMIENTO CON ppm DONDE SE UBICARAN LOS PILARES.

ACTIVIDAD: SE INSTALARAN 3 PILARES EN CADA UNA DE LAS EMR UNO PARA LAS MEDICIONES DE D, I, OTRO EN LA CASILLA DEL ppm PARA F, Y EL TERCERO PARA LA MIRA CON ACIMUT GEOGRAFICO CONOCIDO.

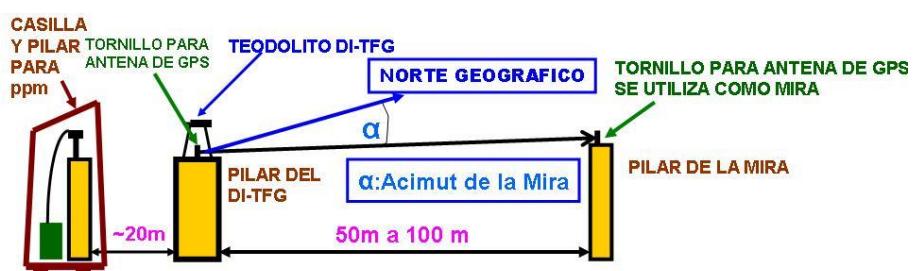


FIGURA 40

En la Figura 39 se muestra la instalación provisoria de un magnetómetro ppm para determinar las similitudes de las variaciones absolutas de los registros de la intensidad total F, en los OMP de ALP, LAS y PIL desarrollados del 19 al 28 de Agosto de 2014. De la información provista por la comparación se tienen los siguientes registros de ALP cada 1min, 5 min, y 10min de muestreo.

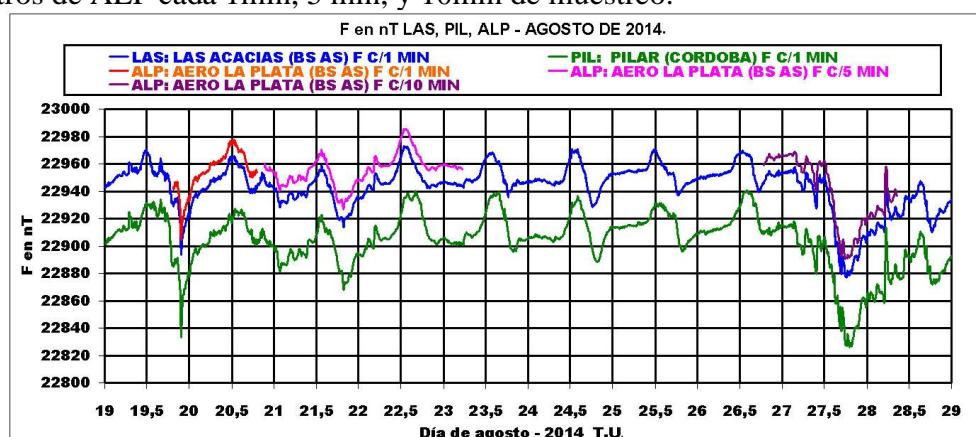
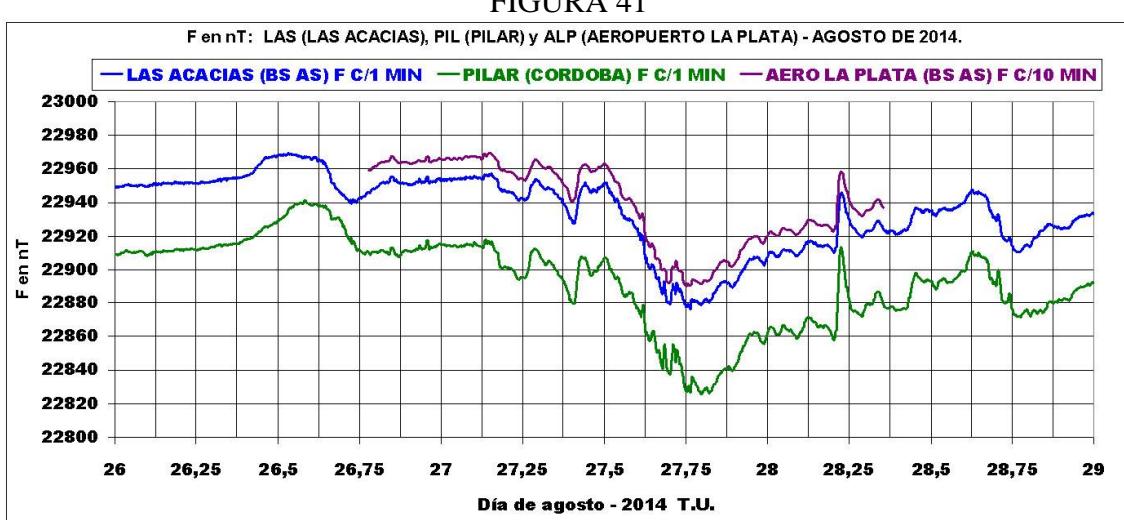
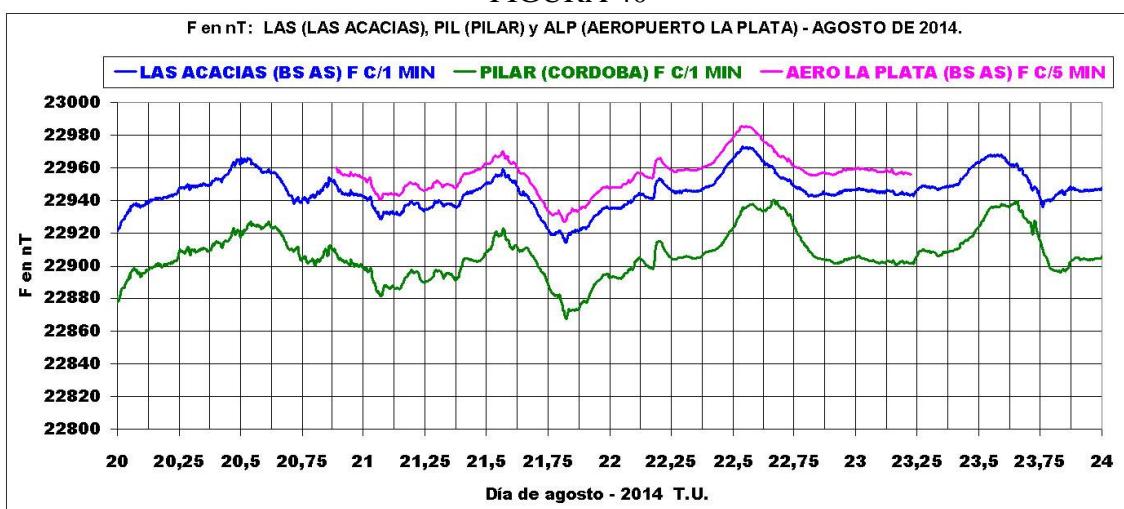
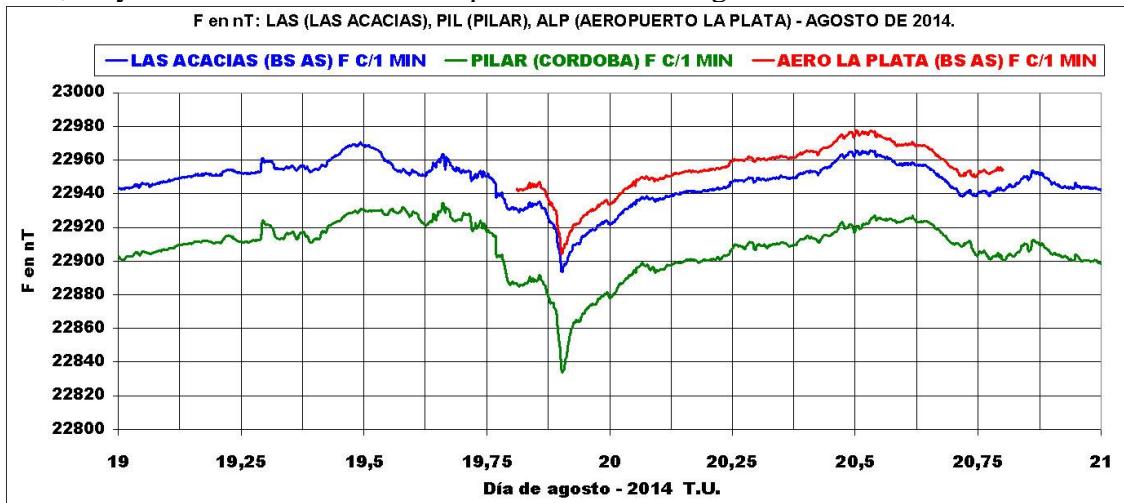


FIGURA 39

Las Figuras 40, 41 y 42 muestran en detalle lo presentado en la Figura 39.



La diferencia en promedio entre los valores de (ALP – LAS) resultó ser de $(+11.8 \pm 0.4)$ nT.

Otro aspecto importante tomado para este estudio es, luego de haber finalizado las observaciones de las comparaciones y teniendo las serie de valores cada 1min, de los OMP de LAS y PIL, analizar la actividad del CMT en cada OMP. Se tomo el registro desde el 15 al 29 de Agosto de 2014 con el fin de determinar que días son calmos y cuales no utilizando el índice P1FDIARIO (Ver Tabla 5) y observar varias peculiaridades a saber: 1) La determinación de la propiedad de día “CALMO” es rápida y tiene una mejor resolución en el análisis. Mientras que la IAGA indica una selección de 5 días quietos por mes (DIAS Q), este criterio necesita la finalización del mes para su conocimiento. Esto sabiendo el límite del P1FDIARIO para cada OMP

es inmediato. 2) Conociendo la calificación de CALMO permite esta característica determinar el NRN de cada día en Tiempo Local, (Ver Apéndices I y II) de tal forma que las variaciones (S+L)CALMAS, previas a cualquier tormenta, y a las que se les sustraen su NRN puedan ser promediadas y restado al registro de la tormenta en Tiempo Local. Este resultado permite obtener el efecto de los Campos Principal y Cortical mas el de la Corriente Anillo (en valor corregido por Variación Diurna Calma). 3) Si tomamos al modelo del IGRF para los instantes del registro de la tormenta y se lo sustraen a lo obtenido en (2) se obtiene un resultado residual particular en cada OMP consistente en el efecto propio de la Corriente Anillo y sus procesos de Inducción, y el efecto Cortical. 4) Esta simple metodología da como resultado el efecto geomagnético de una tormenta la cual puede ser comparable con el índice Dst para su análisis de los fenómenos locales.

Las Figuras 43 y 44 muestran el análisis realizado para la determinación de día CALMO.

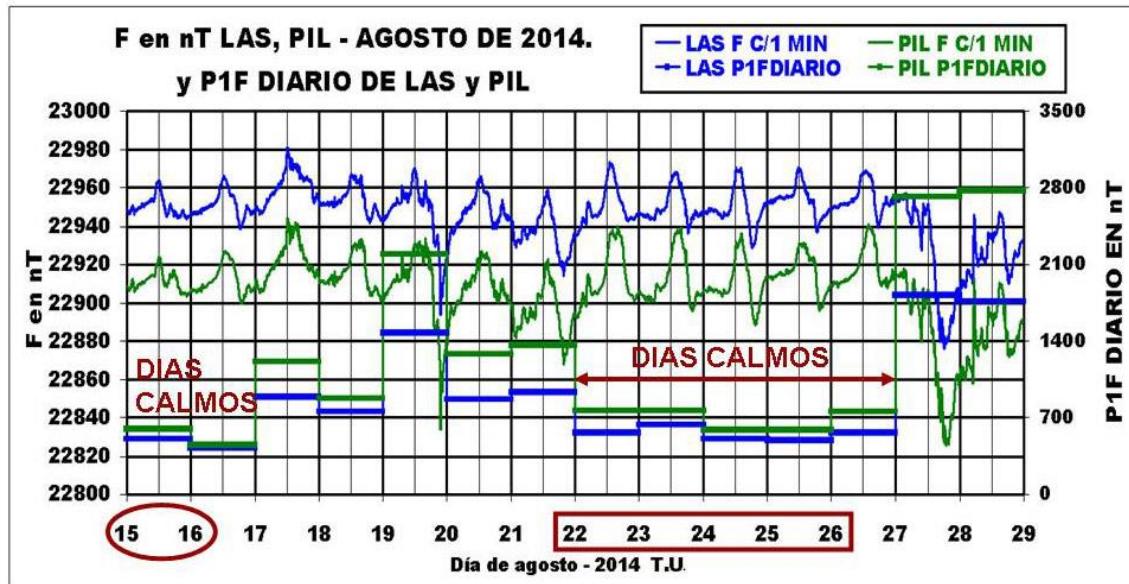
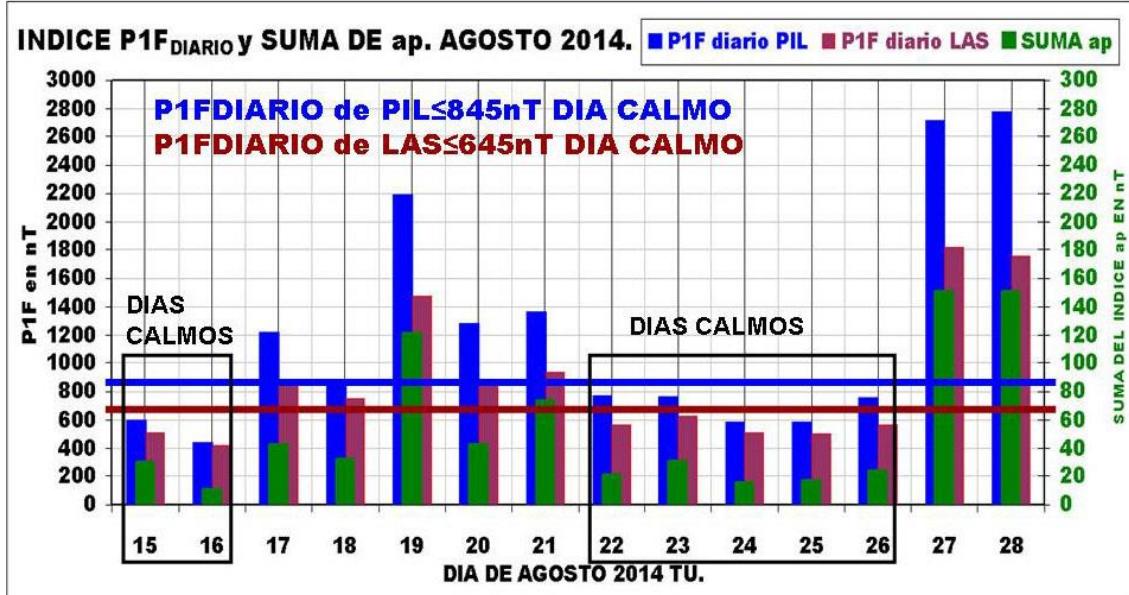


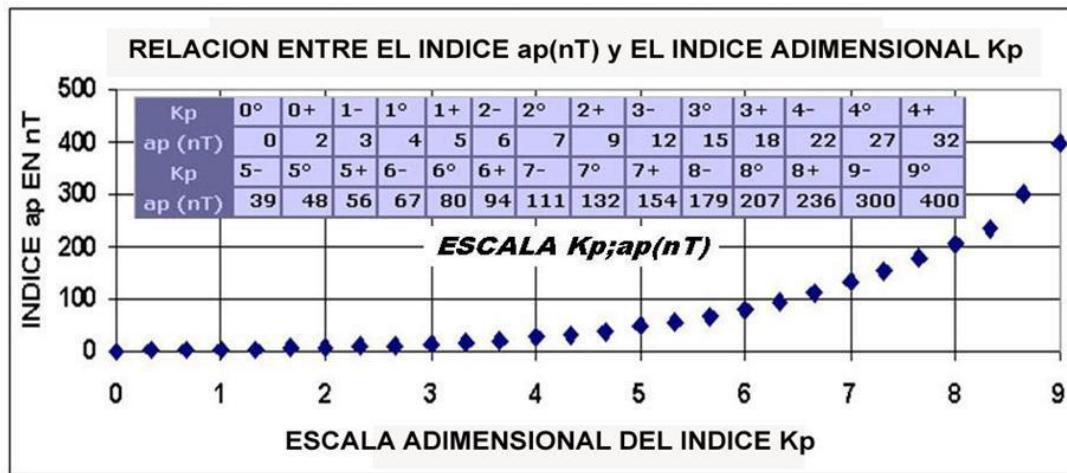
FIGURA 43



FIGURAS 44

En la Figura 44 se ha incorporado la suma diaria del índice trihorario ap que publica la IAGA al cabo de la finalización de cada mes calendario a los fines para este caso para observar su relación con el P1FDIARIO de PIL y LAS. Los 5 días Q publicados por la IAGA para el mes de Agosto de 2014 fueron el 9, 16, 24, 25 y 26, que se los denomina como Q1. Estos días son complementados por otros 5 días Q llamados Q2 siendo esto los siguientes: 14, 15, 18, 22 y 23. Una simple observación de los registros de LAS y PIL (Figura 43) el día 18 no es calmo, ni puede ser quieto tipo Q2, lo cual es incongruente a nivel geomagnético global, producto del método de cálculo del Kp, de selección y de la distribución de los OMP para la determinación de índice Kp. La relación con el rango e índice equivalente es por medio del índice ap que se mide en nT. La Figura 45 muestra dicha relación y su gráfica la cual es una expresión ajustable por una exponencial cuya expresión

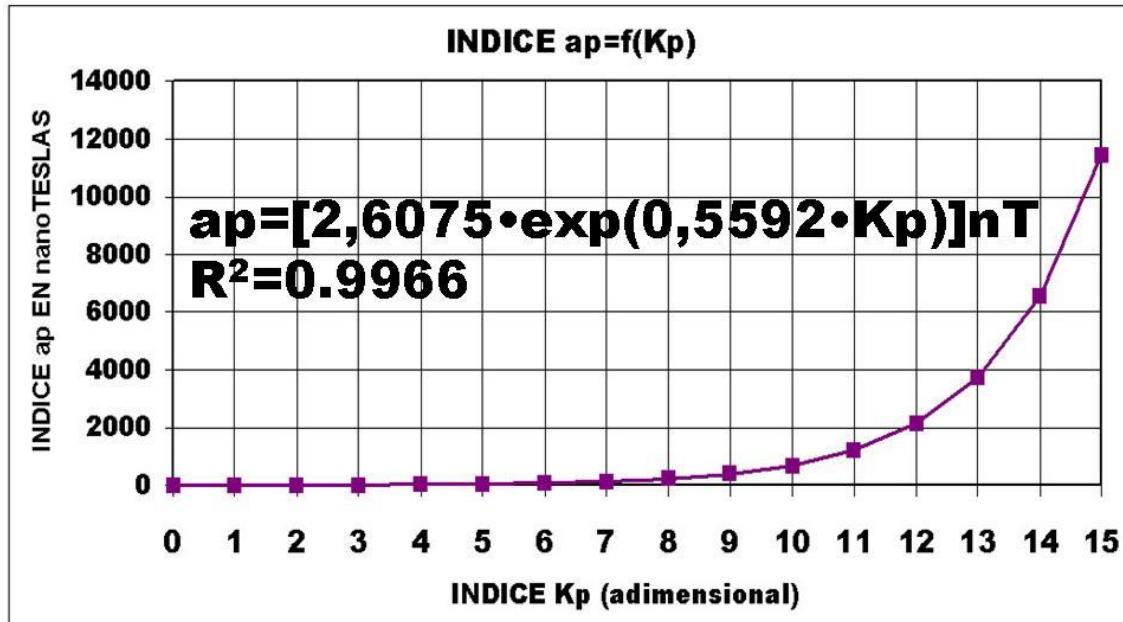
es la siguiente: $ap = [2,6075 \cdot \exp(0,5592 \cdot Kp)]nT$, con $R^2 = 0.9966$. La Figura 46 muestra la extensión de la relación $ap = f(Kp)$, para valores mayores que 9 ya que este límite es arbitrario.



LA ESCALA DECIMAL EQUIVALENTE DEL INDICE Kp ES LA SIGUIENTE:

$$\begin{aligned}
 0^{\circ} &= 0; & 2 &= 1.66; & 4 &= 3.66; & 6 &= 5.66; & 8 &= 7.66; \\
 0+ &= 0.33; & 2^{\circ} &= 2; & 4^{\circ} &= 4; & 6^{\circ} &= 6; & 8^{\circ} &= 8; \\
 1- &= 0.66; & 2+ &= 2.33; & 4+ &= 4.33; & 6+ &= 6.33; & 8+ &= 8.33; \\
 1^{\circ} &= 1; & 3- &= 2.66; & 5- &= 4.66; & 7- &= 6.66; & 9- &= 8.66; \\
 1+ &= 1.33; & 3^{\circ} &= 3; & 5^{\circ} &= 5; & 7^{\circ} &= 7; & 9^{\circ} &= 9; \\
 3+ &= 3.33; & 5+ &= 5.33; & 7+ &= 7.33;
 \end{aligned}$$

FIGURA 45



EL INDICE ap REPRESENTA EL RANGO DE VARIACION EN nT DEL INDICE Kp
 DADO POR LA RELACION FUNCIONAL $ap = f(Kp)$, LA CUAL PERMITE EXTENDER
 EL VALOR DE ap A VALORES DEL INDICE Kp MAYORES A 9 COMO LO PREVEE
 LA IAGA CON LOS OMP CONPRENDIDOS ENTRE $\pm 70^{\circ}$ DE LATITUD AL UTILIZAR
 LA COMPONENTE H. SI SE UTILIZA LA INTENSIDAD TOTAL F ESTE INDICE
 PUEDE EXTENDERSE A $\pm 90^{\circ}$ DE LATITUD

FIGURA 46

La Tabla 7 y la Figura 48 muestran la aplicación de la metodología para el cálculo del rango de la variación de la intensidad F para evaluar la actividad del CMT. En especial la Figura 48 muestra la forma de

estimación del rango habiendo aplicado la corrección por variación (S+L)CALMA para la evaluación del índice kF3h (Véase Tabla 3 a 6).

ESTA FORMULA ES LA QUE PERMITE EL CALCULO DEL RANGO DE VARIACION DE LA COMPONENTE H

$$ap=[2,6075 \cdot \exp(0,5592 \cdot Kp)]nT$$

$$R^2=0,9966$$

RANGO = Lim.sup. – Lim.inf.
SU TRANSFORMACION UTILIZANDO LA INCLINACION I PERMITE OBTENER EL RANGO DE VARIACION PARA LA INTENSIDAD F SEGUN ESTA TABLA:

RANGO EN nT TRIHORARIO DE F PARA DETERMINAR EL INDICE kF3h

kF3h	VSS	PIL	TRW	PST	KEP	ORC	AIA
0	2,9	3,1	3,4	3,7	4,1	4,5	4,9
1	5,0	5,5	6,0	6,5	7,1	7,8	8,5
2	8,7	9,5	10,4	11,4	12,5	13,7	15,0
3	15,3	16,7	18,3	20,0	21,9	23,9	26,2
4	26,7	29,2	32,0	35,0	38,2	41,8	45,8
5	46,7	51,1	55,9	61,2	66,9	73,2	80,1
6	81,7	89,4	97,8	107,0	117,0	128,0	140,0
7	143,0	156,4	171,1	187,1	204,7	223,9	245,0
8	250,1	273,6	299,3	327,4	358,1	391,7	428,5
9	437,4	478,5	523,5	572,6	626,4	685,2	749,6

RANGO (nT) en cada OMP=[2.6075·exp(0.5592·kF3h)]/cos(<igrf(l)>₁₉₀₀₋₂₀₂₀)

Donde l es la inclinación promedio del CMT determinada por el igrf para cada OMP en cada año entre 1900 y 2020.

INDICE	AMPLITUD DEL RANGO en nT		
Kp	limite inf.	≤	limite sup.
0	0	≤	2,5
1	2,6	≤	4,5
2	4,6	≤	7,9
3	8,0	≤	13,9
4	14,0	≤	24,3
5	24,4	≤	42,6
6	42,7	≤	74,6
7	74,7	≤	130,6
8	130,7	≤	228,5
9	228,6	≤	399,8
10	399,9	≤	699,4
11	699,5	≤	1223,5
12	1223,6	≤	2140,4
13	2140,5	≤	3744,2
14	3744,3	≤	6549,7
15	6549,8	≤	11457,4

FIGURA 47

FORMULACION DE LOS VALORES RELATIVOS Y RANGO

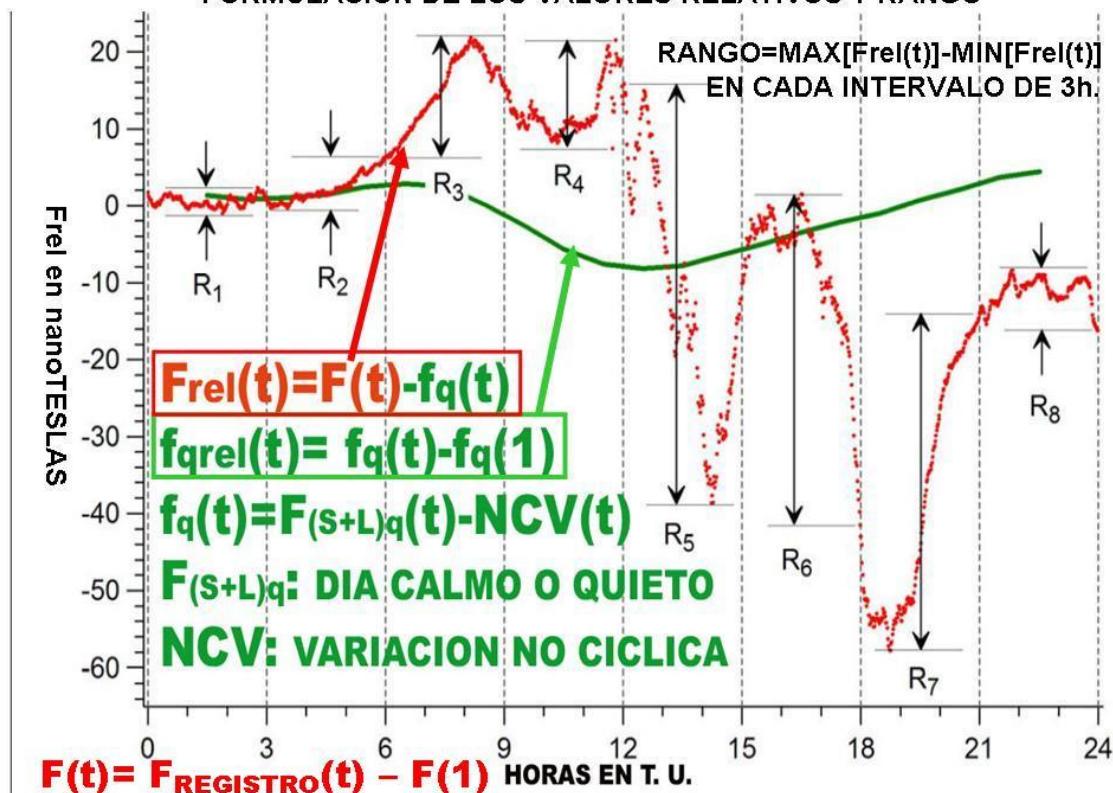


FIGURA 48

DISCUSIÓN, PROPUESTAS Y CONCLUSIONES: El análisis de la propuesta expuesta conduce a analizar la utilidad de OMP TIPO2.

1) Siendo su registro digital y absoluto permite tener el valor de F y conocer su evolución en todo el planeta

sin tener que evaluar ninguna línea de base.

- 2) Al cabo de cada hora según el sistema TU o TL se conoce la actividad de F para esa hora mediante índices de actividad.
- 3) Se utiliza inmediatamente la información para la corrección de relevamientos geomagnéticos aéreos, marinos y terrestres.
- 4) Los OMP TIPO2 complementan la red de los OMP TIPO1 y su utilidad esta dada en la posibilidad de ampliar su función a una EMR para la confección de cartas magnéticas.
- 5) El presupuesto de mantenimiento es menor que el de un OMP TIPO1.
- 6) Para los países en proceso de desarrollo son una herramienta de bajo costo para la aplicación del conocimiento de las peculiaridades y determinación de las anomalías de F
- 7) Los OMP TIPO2 y su información producida son de utilidad inmediata para el estudio, análisis, y modelado de las fenomenologías de la conexión Sol-Tierra, en particular en la Climatología Espacial.
- 8) A pesar que no existe una política internacional por parte de IAGA en incorporar en sus bases de datos los valores absolutos de los OMP TIPO 2 es una discusión pendiente debido a sus aportes científicos demostrados al utilizar la información de F de los OMP TIPO1 para estudios comparativos.
- 9) Resta concluir cuales serían los lugares estratégicos de instalación de OMP TIPO2 en la República Argentina para tener una red complementaria a la ya existente de OMP TIPO 1 y 2.
- 10) Los antecedentes históricos ubican al SMN como la institución que lidera el Geomagnetismo, y de ello sería importante la creación de un Departamento Específico de Geomagnetismo y que su finalidad en conjunto con la red de Estaciones Meteorológicas donde se ubicaría el instrumental sea la obtención del dato. El proceso de capacitación, estaría bajo la responsabilidad del Departamento de Capacitación.
- 11) Esta estructura y recurso humano podría desarrollar temas de investigación, con becarios propios y de otras Universidades, CONICET y Comisiones de Investigación Provinciales.
- 12) Un aspecto a discutir es ¿Porque la instalación de un OMP TIPO2 en el Aeropuerto La Plata? Las razones fundamentales están dadas sobre el hecho de inexistencia de una real formulación documentada de la instalación del OMP LAS en el predio privado llamado Chacra Las Acacias en el paraje El Pino de Ruta 11 de la Provincia de Buenos Aires. La Estación Meteorológica Aeropuerto La Plata es el lugar auxiliar para la instalación del OMP TIPO2 simplemente por tener los recursos humanos y tecnológicos in situ. El OMP LAS no los dispone. En especial conexión por Internet. De ello se concluye que es oportuno y apropiado instalar el OMP ALP en registro en paralelo con LAS.

REFERENCIAS:

- Campbell W. H. (1989), Quiet Daily Geomagnetic Fields. Birkhäuser-Verlag. Berlin. PAGEOPH Vol 131 N°3 pp. 315-549.
- Gianibelli J.C. y Quaglino N. (2007 al 2015), CURSOS DE CAPACITACION EN GEOMAGNETISMO, RELACIONES TERRESTRES, y CLIMATOLOGIA ESPACIAL. SMN Departamento de Capacitación. smn@smn.gov.ar
- Gianibelli J.C., Quaglino N., Gil M.I. y Nollas F. (2015), LA ACTIVIDAD GEOMAGNETICA MEDIANTE UN INDICE DE DETERMINACION GLOBAL. Actas de trabajos completos E-ICES 10. ISBN: 978-987-1323-39-5 Ed: Comisión Nacional de Energía Atómica – CNEA. 2015.
- IAGA 1996a. Guide for Magnetic Measurement and Observatory Practice. By Jankovski J. and Sucksdorff Ch. pp.1-235.
- IAGA 1996b. Guide for Magnetic Repeat Station Survey- By Newitt, L.R., Barton, C.E. and Bitterly J. pp. 1-112
- Jacobs J.A. Ed. (1991). Geomagnetism Vol. 1, 2, 3 y 4. Academic Press Limited. London.
- Mayaud P. N. (1967a), IAGA Bulletin N°21 Atlas of Indices K, 1. Texto. pp.1-113.
- Mayaud P. N. (1967b), Bulletin N°21 Atlas of Indices K, 2. Figuras. Pp.1-86.
- Mayaud P. N. (1980), Geophysical Monograph Series Vol 22. American Geophysical Union, pp.1-154.

APENDICE I: LOS DIAS Q DE LA IAGA, EL INDICE P1F_{DIARIO} y LOS DIAS CALMOS.

Los criterios sustentados por la IAGA sobre para la calificación de los días en un mes calendario en Quietos (Q de Quiet), Regulares (R de Regular) y Perturbados (D de Disturbed) se remontan al año 1932 utilizando OMP elegidos del hemisferio norte y utilizando el índice Kp. Actualmente se disponen de 12 OMP para la generación del índice Kp (Figura 35). Los días Q (5 por mes) se seleccionan siguiendo un criterio donde se trata de homogeneizar las perturbaciones con rangos cada 3 horas inapropiados donde la NOAA ya ha comenzado a cambiarlos según Apéndice I - Tabla 1 donde se clasifica para el OMP de Boulder (BOU) las características de los efectos de las tormentas geomagnéticas.

INDICE Kp e INDICE K PARA BOULDER COMPARACION DE RANGOS

INDICE Kp PLANETARIO		INDICE K PARA BOULDER		CALIFICACION NOAA	ESTADO
Kp	RANGO (nT)	k	RANGO (nT)		
0	0-4	0	0-5	Sin tormenta: Campo geomagnético inactivo (?)	
1	4.1-7	1	5.1-10	Sin tormenta: Campo geomagnético muy tranquilo	
2	7.1-15	2	10.1-20	Sin tormenta: Campo geomagnético tranquilo	
3	15.1-27	3	20.1-40	Sin tormenta: Campo geomagnético intranquilo	
4	27.1-48	4	40.1-70	Sin tormenta: Campo geomagnético activo	
5	48.1-80	5	70.1-120	G1	Tormenta geomagnética menor
6	80.1-132	6	120.1-200	G2	Tormenta geomagnética moderada
7	132.1-207	7	200.1-330	G3	Tormenta geomagnética mayor o fuerte
8	207.1-400	8	330.1-500	G4	Tormenta geomagnética severa
9	≥400	9	>500	G5	Tormenta geomagnética muy severa

EL INDICE Kp y EL INDICE k SE DETERMINAN SOBRE RANGOS OBSERVADOS SOBRE LA COMPONENTE HORIZONTAL.

EL Kp ES UN PROMEDIO PESADO SOBRE UNA DISTRIBUCION

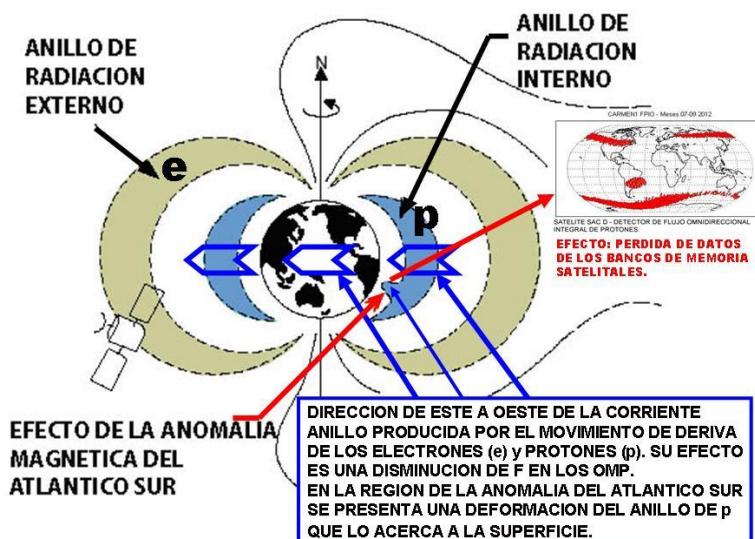
DE 12 OMP DISTRIBUIDOS ENTRE LAS LATITUDES ± 60°;

10 EN EL HEMISFERIO NORTE y 2 EN EL HEMISFERIO SUR.

EL RANGO PARA k DE BOULDER ES SU ESCALA PARTICULAR DE ACTIVIDAD A EVALUAR DE 1 a 9.

APENDICE I -TABLA 1

Las razones para comprender el criterio de seleccionar 5 días Q en el mes no es lógico para los estudios de (Sq+L) pues hay días que son perturbados por tener aportes de procesos Ionosféricos y Magnetosféricos acoplados provenientes de fenómenos de reconexión de los sistemas de corrientes equivalentes de la Magnetosfera con la Ionosfera. El concepto de que los fenómenos Inosféricos que producen la Sq+L esta sujeto a modulaciones de dos tipo: Anuales y Semianuales y Solares relacionadas con la actividad solar (ciclo quasi-undecenal de manchas solares), y supone que los sistemas (Figura 30) están aislados. Esta hipótesis no es verdadera en especial cuando las regiones donde se encuentran los anillos de radiación tienen deformaciones relacionadas con la AMAS (Apéndice I – Figura 1)

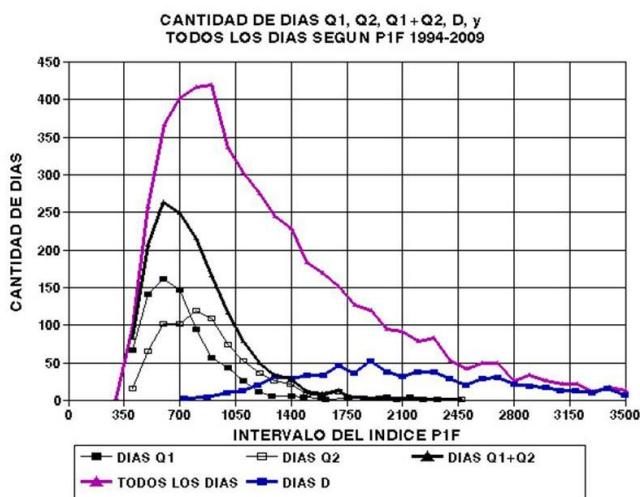


APENDICE I – FIGURA 1

La actividad de un sistema debe evaluarse por medio de un índice que evidencie los diferentes efectos de las fuentes que se observan en el punto de observación. Para ello se diseño el índice P1F_{DIARIO} utilizando la Intensidad Total F del CMT que tiene las siguientes propiedades:

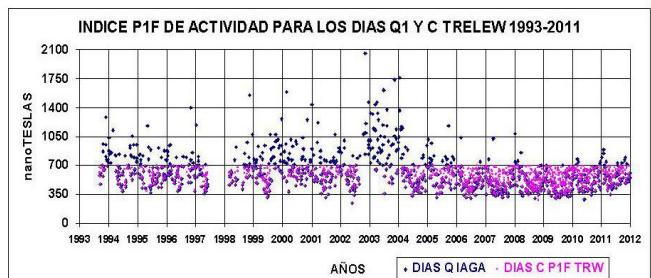
- 1) Su determinación es lineal y de presentación en línea de los magnetómetros absolutos digitales ppm al cabo de las 24 horas de registro sobre cualquier OMP ubicado en la superficie terrestre.
- 2) Que la serie del índice P1F_{DIARIO} permita una mejor selección de los días Q (también llamados Q1 a los 5 primeros y Q2 a los 5 subsiguientes)
- 3) Permite determinar el límite para el índice P1F_{DIARIO} que facilite diferenciar entre un día quieto(Q) y un día calmo(C), pues el criterio de quieto esta relacionado con una curva suave del registro de (Sq+L) lo cual en los sistemas de registro digital se evidencia todo lo contrario según la precisión del sensor.
- 4) Se desarrollo un estudio estadístico desde 1994 hasta 2009 inclusive, de los registros digitales de F en el OMP de TRW determinando el índice P1F_{DIARIO} para todos los días. Se agruparon los días según cinco características en: **A)** Los 5 días Q por mes llamados Q1. **B)** Los siguientes 5 días Q llamados Q2. **C)** el conjunto Q1 + Q2. **D)** Todos los días. **E)** Los 5 días por mes más perturbados llamados días D, y se determino su curva de frecuencia para cada una. La funciones de distribución de frecuencia muestran que el valor de P1F_{DIARIO} mas probable para la calificación de calmo resulto ser para el OMP de TRW de 700nT mostrado en la figura Apéndice I-Figura 2. Un aspecto importante en esta figura resulto que el límite inferior de P1F_{DIARIO} para los días D es precisamente el valor de 700nT.

Seleccionando todos los días con P1F_{DIARIO} ≤ 700 nT, desde 1993 a 2011 inclusive muestra la gran cantidad de días Q1 donde el valor del índice P1F_{DIARIO} supera los 700nT dejando de ser Calmos y Quietos a pesar de su calificación de la IAGA. Ver Apéndice I Figura 3. La relación de los índices de otros OMP al OMP TRW, permite determinar el límite equivalente de estos otros OMP como se muestra en la figura Apéndice I-Figura 4.



APENDICE I - FIGURA 2

$$P1F_{DIARIO} = \sum_{1}^{1440} \left| F(t_j) - \langle F_{1h}(t_j) \rangle \right|$$



DIAS "Q" o "Q1" 5 DIAS SELECCIONADOS COMO QUIETOS (QUIET) POR LA IAGA TOMANDO EL CRITERIO DEL INDICE Kp TRIHORARIO. SE DETERMINO EL INDICE P1F_{DIARIO}
DIAS "C" (CALMOS) SELECCIONADOS CON EL CRITERIO P1F_{DIARIO} ≤ 700 nT

APENDICE I – FIGURA 3

OMP	VALOR LIMITE	
Código	PARA P1F nT	R ²
TRW	700	----
LAS	680	0.96
HER	680	0.73
VSS	640	0.95
HUA	2100	0.89
KOU	640	0.92

PIL PARA UN P1F<870nT

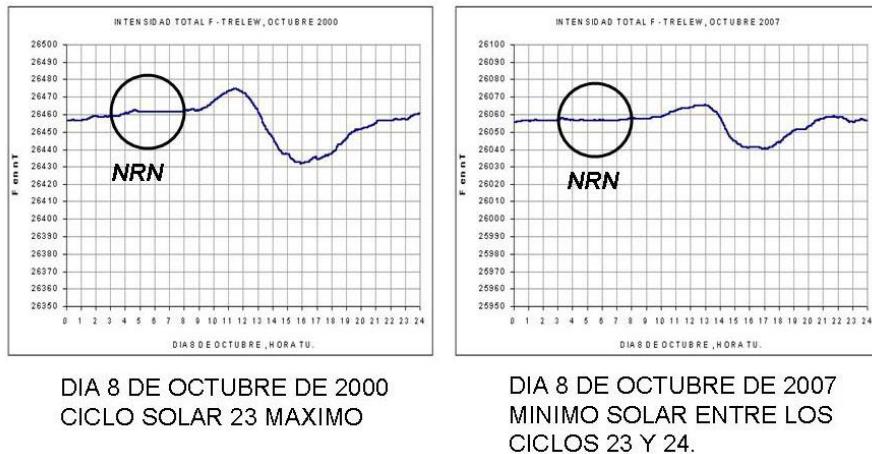


APENDICE I – FIGURA 4

APENDICE II: EL NIVEL DE REFERENCIA NOCTURNO (NRN)

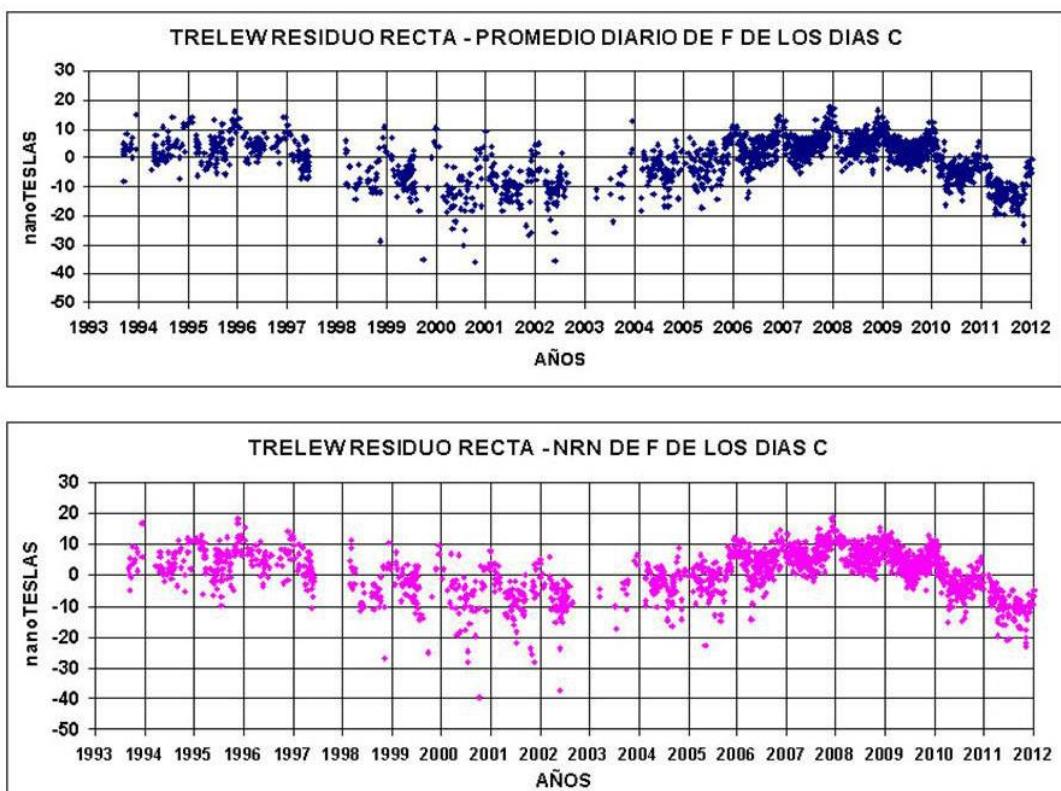
El NRN es el valor absoluto de cualquier elemento del CMT en tiempo local determinado en días “C” (Calmos) en el intervalo 00-04 horas. Su estadística a través del tiempo permite tener una evaluación del nivel de referencia a substraer de los registro para obtener las variaciones “relativas”. Este procedimiento es el apropiado para la corrección de los diferentes tipos de relevamientos geomagnéticos (terrestres, marinos y aéreos) para el modelado geotectónico. La Figura Apéndice II – Figura 1 muestra la variación Sq+L en alta y baja actividad solar indicándose el intervalo en tiempo local del NRN.

NIVEL DE REFERENCIA NOCTURNO: NRN
(Valores absolutos en tiempo local (0h-4h) de los días calmos)
LA AMPLITUD DE LA VARIACION (Sq+L) ESTA MODULADA
POR EL CICLO SOLAR



APENDICE II – FIGURA 1

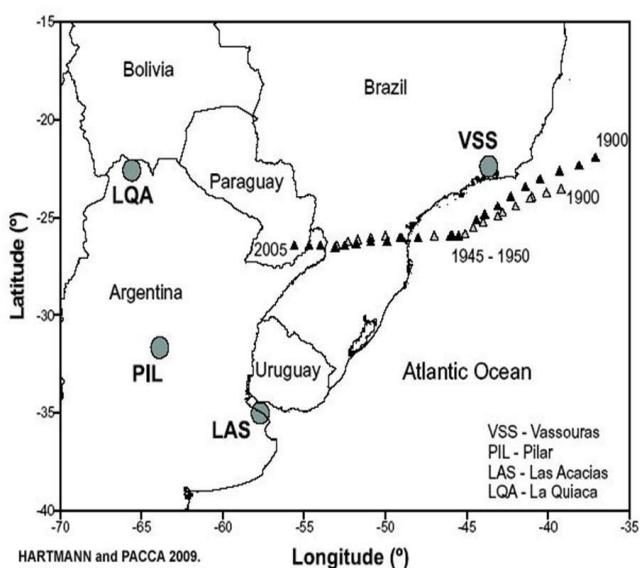
Los estudios realizados a este respecto muestran en la Figura APENDICE II – FIGURA 2, los resultados comparativos del promedio diario de los días “C” a los que se les substraen una recta de regresión y los del NRN de los mismos días a los que también se les substraen una recta de regresión. En esta Figura aparece la variación anual y semianual mas claramente en el promedio diario que en el NRN indicando que la parte diurna del SCI es preponderante en la fuente de esta variación. También se muestra el efecto de la modulación del ciclo solar, máximo 1998-2004; mínimo 2004-2010.



APENDICE II – FIGURA 2

APENDICE III: EVOLUCION DE LA AMAS Y PREDICCION.

La AMAS es una anomalía generada en el Núcleo Externo de la Tierra representada por en los modelos del CMT en esféricos armónicos como un aumento notable de la elegía del aporte multipolar de orden 2 (representación cuadrupolar) frente a la dipolar en continuo decrecimiento. Un antecedente se tiene en la evaluación realizada por Hartamnn y Pacca en el 2009 utilizando dos modelos de IGRF y recientemente por medio del modelo del IGRF 2015 se evalúo la trayectoria del mínimo de la SAMA y su valor desde el 1900 hasta el 2015 mostrando su continuo decrecimiento (APENDICE III FIGURA1 y FIGURA 2). Se estima que el mínimo de esta anomalía se dirige hacia la región del norte de la Argentina y Sur de Bolivia.

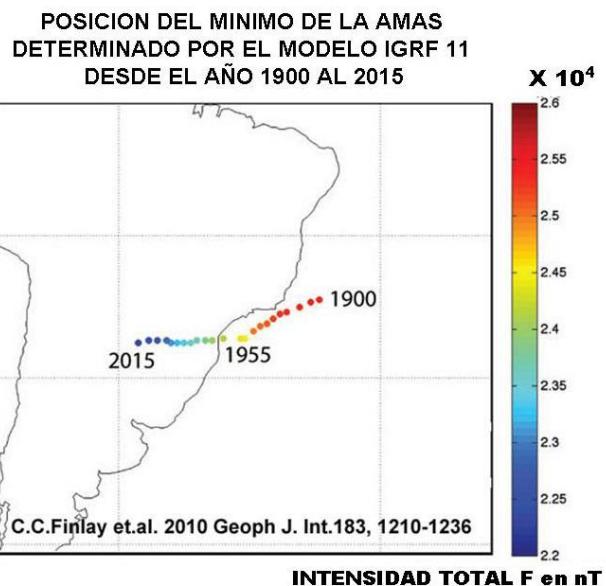


APENDICE III – FIGURA 1

Véase “The evolution of the South Atlantic Magnetic Anomaly” by Hartamann and Pacca 2009 en <http://www.scielo.br/pdf/aabc/v81n2/v81n2a10.pdf>

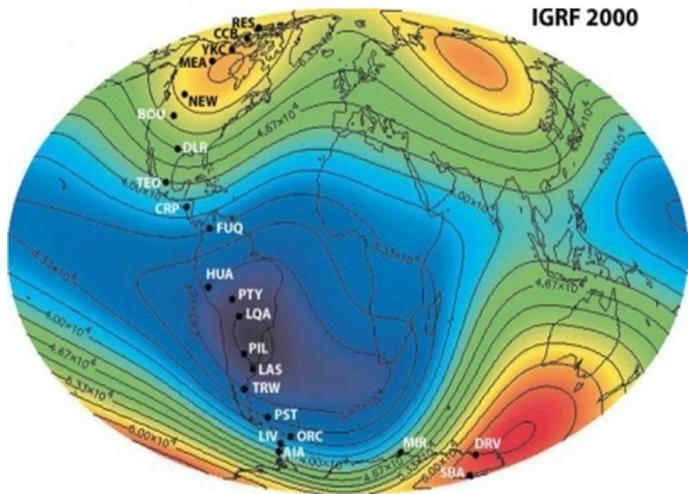
y “International Geomagnetic Reference Field: 2 The Eleventh Generation” by Finlay C.C. et. al. 2010 en http://nora.nerc.ac.uk/13059/1/IGRF11_submitted_to_GJI.pdf

La predicción de los valores de la SAMA mostrada en la Figuras 25 y 26 se detalla seguidamente indicando la metodología utilizada. Se seleccionaron los OMP siguiendo un perfil regional desde el casquete polar norte hasta el casquete polar sur, como se muestra en la Figura APENDICE III – FIGURA 3. En cada OMP se determinó el valor de la Intensidad Total F del CMT, desde 1900 hasta el año 2010, cada 5 años mediante el IGRF, se sustrajo la tendencia lineal por medio de una recta de regresión y se analizó el residuo mediante un análisis espectral no lineal de máxima entropía. Este residuo constituye la denominada “Variación Secular cada 5 años (VS)”. Se confecciono el modelo compuesto por el modelo lineal mas las componentes espetrales $F(T) = (A + B*T) + \sum C_k * \exp(i\omega_k T + \phi_k)$, donde $\omega_k = 2\pi/T_k$ para la predicción de los valores cada 5 años de 1900 hasta el 2100. Estos resultados se muestran en forma global para los años 1900-2000-2100 en la Figura 26. La Figura APENDICE III - FIGURA 4 se muestra en particular marcado con un ovalo celeste la importante disminución del valor de F para el año 2100, en especial en los OMP HUA, PTY y LQA. Este decrecimiento también se expande hasta el OMP de FUQ. En particular la evolución y análisis de los cambios de la “VS” cada 5 años se muestra en la Figura APENDICE III –FIGURA 5. En esta figura aparecen los períodos, amplitudes y fases detectados en los OMP de HUA, PTY, LQA, PIL, LAS, TRW y PST. En la Figura APENDICE III –FIGURA 6 se calculo el valor de F desde 2010 hasta el 2100 cada 5 años. Los resultados de las predicciones para el año 2100 muestran dos aspectos importantes los OMP PST, TRW, LAS y PIL se encuentran en el entorno entre 23000 y 18000 nT, mientras que los OMP de LQA, HUA y PTY tuene valores casi semejantes alrededor de los 17000 nT. En las regiones polares en los OMP de RES tendrá un valor de 55000 nT mientras que para el OMP de DRV tendrá un valor de 62000 nT para el año 2100 (APENDICE III –FIGURA 5). La región del ecuador magnético es esperable que el valor de F, si fuera el campo solo dipolar, debería valer del orden de 22900 nT en HUA, y un poco mayor en PTY y LQA mientras que el valor estimado para el año 2100 es de 17000 nT, lo que indica la iniciación de un cambio a un proceso multipolar en el futuro. Este estado actual y posiblemente futuro implica que el OMP de LQA



APENDICE III – FIGURA 2

deba ser reactivado prontamente, ya sea como un OMP TIPO1 o un OMP TIPO 2. Lo más aconsejable es lo segundo, ya que es más económico y de inmediata instalación previa actividad de analizar el lugar respecto de perturbaciones artificiales o de actividad antropogénica reciente.



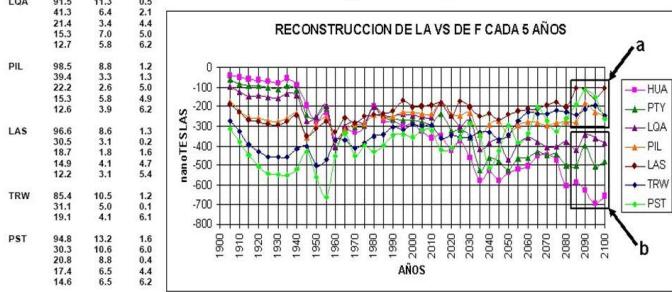
APENDICE III - FIGURA 3

OBS. PER. AMP. FASE
HUA años nT/año rad.
74.2 13.7 5.7
42.7 7.3 2.2
22.2 4.3 4.1
14.8 4.3 4.2
12.1 5.1 4.7

SE SUSTRAJO UNA RECTA A LOS DATOS OBTENIDOS
POR EL IGRF DE CADA OMP Y SE ANALIZO EL CAMBIO
CADA 5 AÑOS POR EL METODO DE MAXIMA ENTROPIA

PTY 41.9 5.2 0.0
41.3 7.0 2.1
22.2 3.2 4.3
15.1 6.2 4.7
12.4 5.4 5.6

$\delta F/\delta T = \sum C_k \exp(i\omega_k T + \varphi_k)$
donde $\omega_k = 2\pi/T_k$



(a) La VS tiene una recuperación indicando una disminución menor de F
(b) La VS crece a valores importantes indicando una gran disminución de F

APENDICE III - FIGURA 5

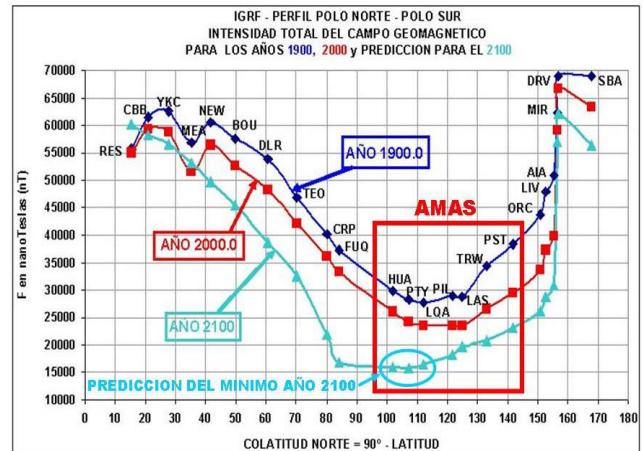
Las Figuras 20, 21 y 22 son indicativas que la intensidad total del CMT debe ser medida con mayor detalle espacial, para ello una red de OMP de TIPO2 es lo aconsejable mediante magnetómetros tipo ppm con registro, en lo posible, en línea. Una posibilidad es la inhalación en LQA (La Quiaca) y USH (Ushuaia), con el fin de verificar los cambios detectados. En la Figura 4 de este Apéndice III obsérvese que el OMP de FUQ que se encuentra sobre el ecuador magnético, también queda involucrado en la predicción, con un valor mínimo del orden de 17.000nT similar a LQA para el año 2100.

AGRADECIMIENTOS: A todo el personal y jefe de la Estación Meteorológica del Aeropuerto La Plata (SMN), Ingenieros Ezequiel García, Guillermo Rodríguez (UNLP-FCAyG: Dept. de ELECTRONICA) y al Sr Técnico en Geomagnetismo Nicolás Quaglino (UNLP-FCAyG: Dept. de GEOMAGNETISMO Y AERONOMÍA) por su trabajo de campo, mediciones y procesamiento de datos.

La Plata.

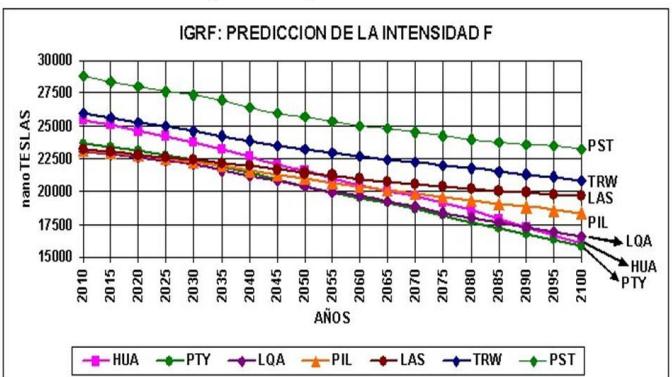
27 de Septiembre de 2021.

$$F(T) = (A+B \cdot T) + \sum C_k \exp(i\omega_k T + \varphi_k), \text{ donde } \omega_k = 2\pi/T_k$$



APENDICE III – FIGURA 4

PRONOSTICO
 $F(T) = (A+B \cdot T) + \sum C_k \exp(i\omega_k T + \varphi_k)$,
donde $\omega_k = 2\pi/T_k$



APENDICE III – FIGURA 6