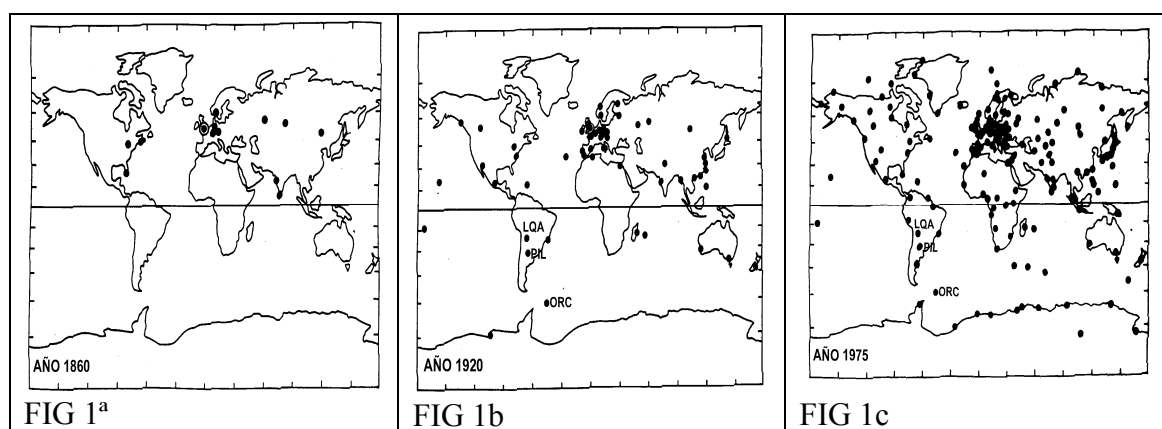


UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS ASTRONOMICAS Y GEOFISICAS
DEPARTAMENTO DE GEOMAGNETISMO Y AERONOMIA

**LOS OBSERVATORIOS MAGNETICOS DEL SERVICIO
METEOROLOGICO NACIONAL
INFORME TECNICO
POR JULIO CESAR GIANIBELLI**

RESUMEN. Se presenta el estado al 5 de Octubre del 2007 de los Observatorios Magnéticos del Servicio Meteorológico Nacional, un análisis de la evolución de los datos procesados y su importancia en el estudio de la evolución de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur

INTRODUCCION. El objetivo de la red de observatorios magnéticos permanentes es estudiar la evolución espacio temporal del campo magnético en la superficie terrestre. El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) es pionero en esta actividad ya que el mismo funda en 1905 dos observatorios: Pilar (PIL) y Orcadas del Sur (ORC). Observaciones históricas se habían desarrollado en Islas de los Estados antes de 1905. Con posterioridad, en 1922, comienza también los registros en el observatorio magnético de La Quiaca (LQA). Para el contexto internacional la evolución de la red de observatorios es la mostrada en la figura 1 partes a, b y c; escaneadas de Malin, (1987). Se aprecia además la distribución desigual entre hemisferio norte y hemisferio sur.



En la actualidad los observatorios magnéticos de LQA, PIL y ORC, son fundamentales para realizar el control de la gran Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS) y aportar su información para confeccionar el modelo matemático denominado Campo Geomagnético Internacional de Referencia (IGRF: INTERNATIONAL GEOMAGNETIC REFERENCE FIELD). Este es publicado y actualizado cada 5 años por la Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía, cuyo acrónimo en inglés es IAGA.

En la figura 2 se muestra la ubicación de los Observatorios Geomagnéticos mas involucrados en la evolución de la AMAS. Estos observatorios permanentes son los siguientes: HUA: HUANCAYO, VSS. VASSOURAS, HER. HERMANUS, TRW: TRELEW, LQA: LA QUIACA, PIL: PILAR, y LAS: LAS ACACIAS, mientras que DRV:

DUMONT D'URVILLE controla la evolución de la región más cercana al polo magnético sur.

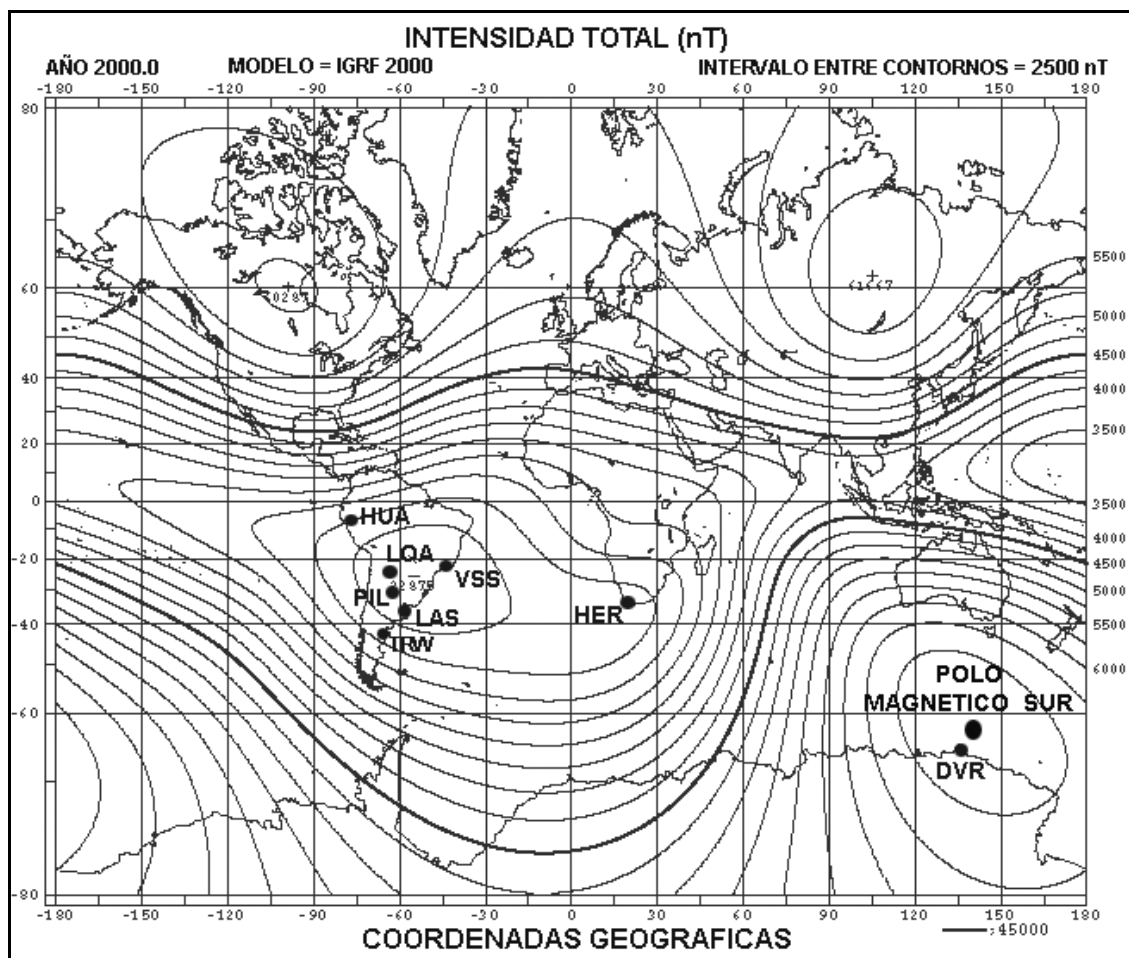


Figura 2: Anomalía Magnética del Atlántico Sur, posición de los Observatorios Magnéticos que controlan su evolución y posición del Polo Magnético Sur.

En un observatorio magnético permanente se producen información de los elementos geomagnéticos de los ángulos de Declinación (D), Inclinação (I), intensidad de las Componentes Horizontal (H), Vertical (Z), Norte (X) y Este (Y) geográficos e Intensidad Total (F) del campo magnético. La unidad de medida es el nanoTESLA= $1\gamma(\text{gamma})=10^{-5}$ gauss.

Los observatorios como LQA, PIL y ORC que poseen instrumental clásico producen valores absolutos de los elementos D, H y Z del Campo Magnético Terrestre (CMT) cada hora como promedio de las variaciones registradas en forma continua por medio de magnetogramas analógicos. Cada valor absoluto esta compuesto por los siguientes aportes de campo de fuentes en distintas regiones del goesistema:

- 1) Campo Principal generado en el núcleo externo de la tierra por un efecto magnetohidrodinámico denominado geodínamo.
- 2) Campo generado por la corteza terrestre y debido a las acumulaciones de minerales ferromagnéticos solidificados y cuya temperatura es menor que 650°C, a la cual

comienzan a generarse los dominios magnéticos. Esta temperatura se denomina temperatura de Courie

- 3) Campo de origen externo producto de la Conexión Sol-Tierra y cuyos escenarios son la Ionósfera para la variación diurna y la Magnetosfera para los fenómenos de tormentas magnéticas. Las fuentes son sistemas de corrientes equivalentes residentes a distintas distancias a partir de la superficie de la Tierra. La Ionosfera se encuentra entre 90 y 650 km de altura mientras que los sistemas de corrientes magnetosféricos están para la corriente de la magnetopausa a 10 radios terrestres, la corriente anillo entre 2.5 y 7 radios terrestres (en la región de los llamados anillos de Van Allen) y los sistemas de corrientes de la cola de la magnetosfera que se extienden entre 30 y hasta 150 radios terrestres. En las regiones polares comprendidas entre los $\pm 70^\circ$ y 90° de latitud aproximadamente se tiene el fenómeno de sistemas de corrientes alineadas con el campo que provocan el denominado electrochorro polar, donde se mezclan efectos de fotoionización e ionización particulada. Asimismo la energización de los átomos disociados a alturas entre 150km (o menos) y 1000km provocan la aurora boreal y austral.
- 4) Estos campos magnéticos de origen externo inducen en la corteza, océano, manto y núcleo de la tierra un sistema de corrientes inducidas de poca intensidad pero detectables por el instrumental de la red de observatorios permanentes.

La magnitud porcentual de los aportes 1 a 4 a una determinación absoluta es de: 95% se debe a los aportes 1 y 2 y el 5% restante a los aportes 3 y 4. Estas estimaciones son el producto de efectuar con toda la información producida por la red de observatorios permanentes un desarrollo en armónicos esféricos del potencial del campo geomagnético válido en el medio donde no existen fuentes (desde la superficie terrestre hasta una altura de 90 km.) y determinar los coeficientes de dicho desarrollo para los aportes de origen externo e interno, (Langel 1987). En particular el campo de origen interno cuya magnitud al aporte absoluto total registrado es del 95% tiene a este valor un aporte del 85% como campo dipolar un 10% como campo no dipolar, es decir multipolar y de ello el campo cuadrupolar es el más importante. El 5% restante, se debe al campo cortical. Este aporte es determinado cuando el orden del desarrollo en armónicos esféricos es mayor a 30, mientras que el aporte del campo generado en el núcleo externo de la Tierra se encuentra representado por un desarrollo hasta el orden 14. (Langel 1987).

En la figura 3 se muestra los sistemas de corrientes equivalentes de la magnetósfera e ionósfera. El principio básico de estos sistemas de corrientes es el efecto “colectivo de las partículas provenientes del sol en la cavidad magnetosférica y de los electrones e iones producidos por la acción fotoionizante del sol en la ionósfera.”



FIGURA 3: Sistemas de corrientes equivalentes de la cavidad magnetosférica y detalle de las corrientes de la ionósfera .

LA RED DE OBSERVATORIOS PERMANENTES E INTERMAGNET.

La red de observatorios permanentes está caracterizada por todos los observatorios permanentes que aportan a los centros mundiales de datos valores medios horarios, mensuales, anuales absolutos de unos o más elementos magnéticos registrados por diferentes instrumentos. Esta red es heterogénea en cuanto a la forma de registro, instrumentación absoluta, intercomparación de instrumental e intervalo de funcionamiento del observatorio. En la actualidad se desconoce la cantidad real de observatorios en operación ya que muchos de los cuales funcionan pero no envían su información a centros mundiales.

En 1991 comienza el funcionamiento coordinado de observatorios magnéticos en el mundo a través de la red Intermagnet, con registros y metodologías normalizadas produciendo una base de datos absolutos cada 1 minuto mediante la modificación del instrumental y/o adquisición de instrumental nuevo de registro digital. Esta tarea conlleva un tiempo de adecuación del recurso humano, intercomparación de los registros clásicos con los producidos por la nueva tecnología y su protocolo unificado, para todos los observatorios de la red. (Ver apéndice 1 y 2)

La figura 4 muestra la ubicación de los observatorios de la red Intermagnet.

INTERMAGNET



FIGURA 4.- Red de Observatorios digitales de Intermagnet. En América de Sur sólo se tienen 4 Observatorios: KOU. KOURU, HUA: HUANCAYO, VSS. VASSOURAS, TRW: TRELEW, PST: PORT STANLEY, y AIA: ISLAS ARGENTINAS en la Antártica.

EL SMN Y LOS OBSERVATORIOS DE PIL, LQA Y ORC EN EL ESCENARIO DEL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE Y LA CONEXION SOL - TIERRA.

La ubicación de los observatorios de LQA, PIL, y ORC es estratégica ya que con HUA y TRW se encuentran en un región que controla todos los eventos del sistema de corrientes ionosféricas desde el ecuador magnético donde se ubica el electrochorro ecuatorial hasta la región donde vincula con el electrochorro polar.

El sistema actual de instrumental en LQA, PIL y ORC está caracterizado por variógrafos clásicos con imán de suspensión unifilar para D y H y balanza magnética de eje horizontal para Z, que registran en papel fotográfico, las variaciones de las componentes δD , δH , y δZ respecto de su correspondiente línea de base D_0 , H_0 , y Z_0 , la que hay que determinar periódicamente como también los valores de escala que indican cuantos nT por mm se aparta la curva de cada elemento registrado, respecto de su respectiva línea de base. También se registra la temperatura t respecto de la línea de base de Z_0 . De esta manera se tiene un registro analógico con sus ecuaciones de reducción valores absolutos. Los variómetros de H y Z tienen una corrección por variación de temperatura cuyo coeficiente se debe determinar por lo menos 1 vez por mes pero no el de declinación. La teoría de los variómetros y variógrafos como la de los instrumentos clásicos se encuentra desarrollada por Laursen and Olsen (1971). El procesamiento de los registros se realiza en forma clásica, promediándose geoméricamente, de hora en hora en TU, mediante una escala graduada en

mm y cuyo valor se le otorga al punto medio de cada hora leída. Luego se procede a aplicar las fórmulas siguientes para determinar el valor absoluto:

$$\begin{aligned} D &= D_0 + \epsilon_D d_{mm} \\ H &= H_0 + \epsilon_H h_{mm} + q_h(t-T_0) \\ Z &= Z_0 + \epsilon_Z Z_{mm} + q_z(t-T_0) \end{aligned} \quad (1)$$

Los valores de línea de base se realizan determinando el valor absoluto de los elementos D , H , y Z mediante magnetómetros cuasiabsolutos QHM y BMZ, un teodolito Flux Gate y un declinómetro Shultz de principio de siglo en Pilar. En LQA y ORC es similar pero sin teodolito Flux Gate. Esta determinación absoluta de D , H , y Z se realiza en un momento conocido y mediante las ecuaciones 1 se conoce ahora los elementos del miembro de la izquierda en cada una de ellas, de los registros se lee en esos instantes los valores en mm de d , h , z y t , e invirtiendo se obtiene D_0 , H_0 , y Z_0 . El resultado es una planilla mensual con 24 promedios horarios para cada elemento D , H , y Z . Su promedio anual es enviado a los centros mundiales.

La red de observatorios que monitorea la AMAS permite la determinación de la tendencia en cada observatorio para obtener de esta manera la variación anual denominada “variación secular”. De la información obtenida en el World Data Center A se confeccionaron la evolución temporal de la intensidad total del campo magnético terrestre en los observatorios de VSS, PIL, LQA y LAS mostrada en la figura 5 y de HUA, HER y TRW mostrada en la figura 6.

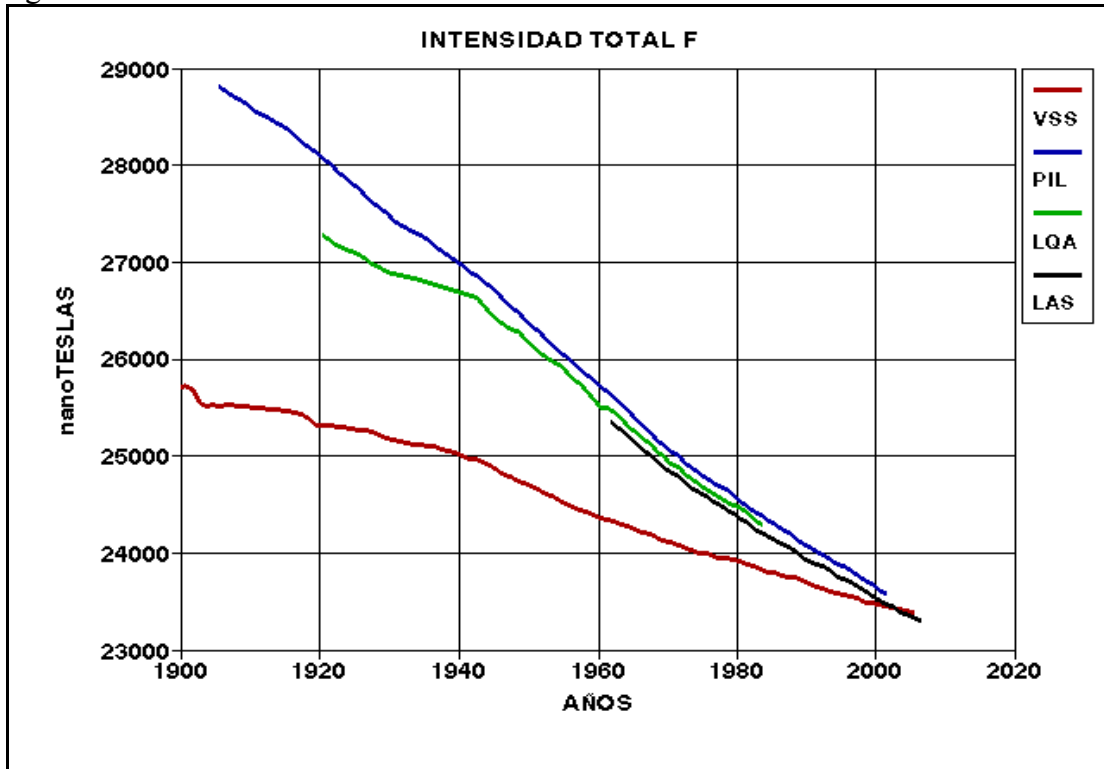


FIGURA 5: Gráfica de los valores medios anuales de los Observatorios VSS, PIL, LQA y LAS.

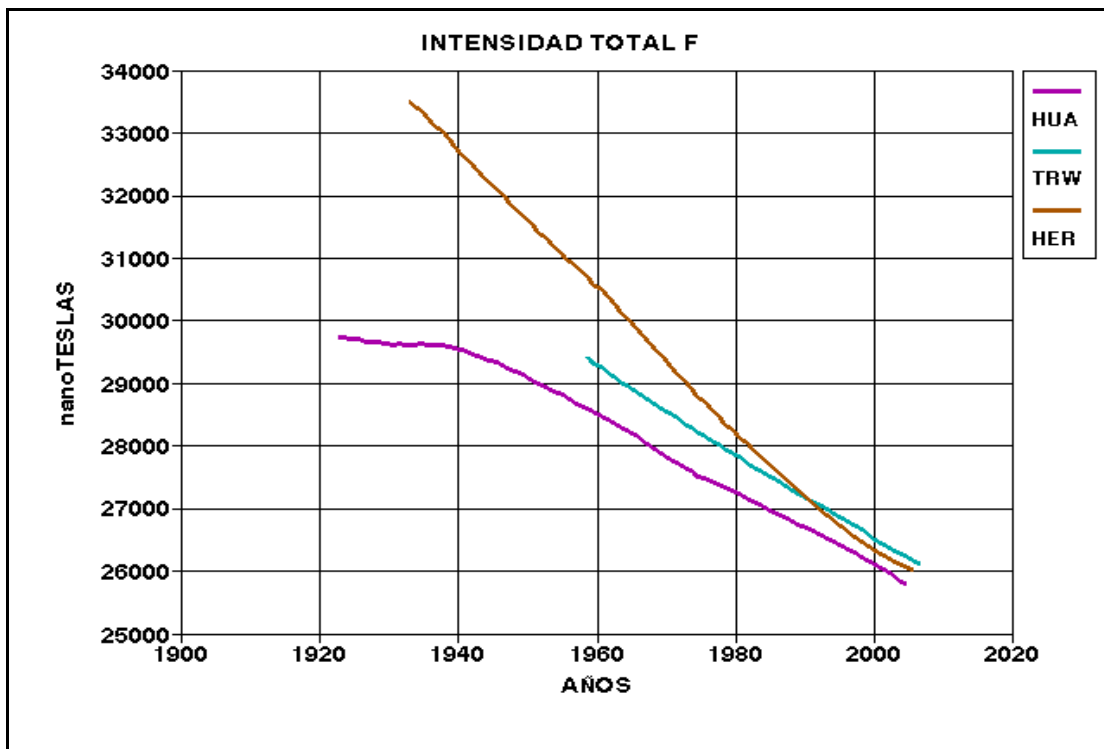


FIGURA 6: Gráfica de los valores medios anuales de los Observatorios de HUA, TRW y HER.

Se determinó la recta de regresión y estimaron los valores para los años 2000 a 2100 cada 10 años resultando las figuras 7 y 8. De ellas se desprende que el que la intensidad total del campo será de aproximadamente 17900 nT en PIL mientras que el valor menor será de aproximadamente de 15300 en HER.

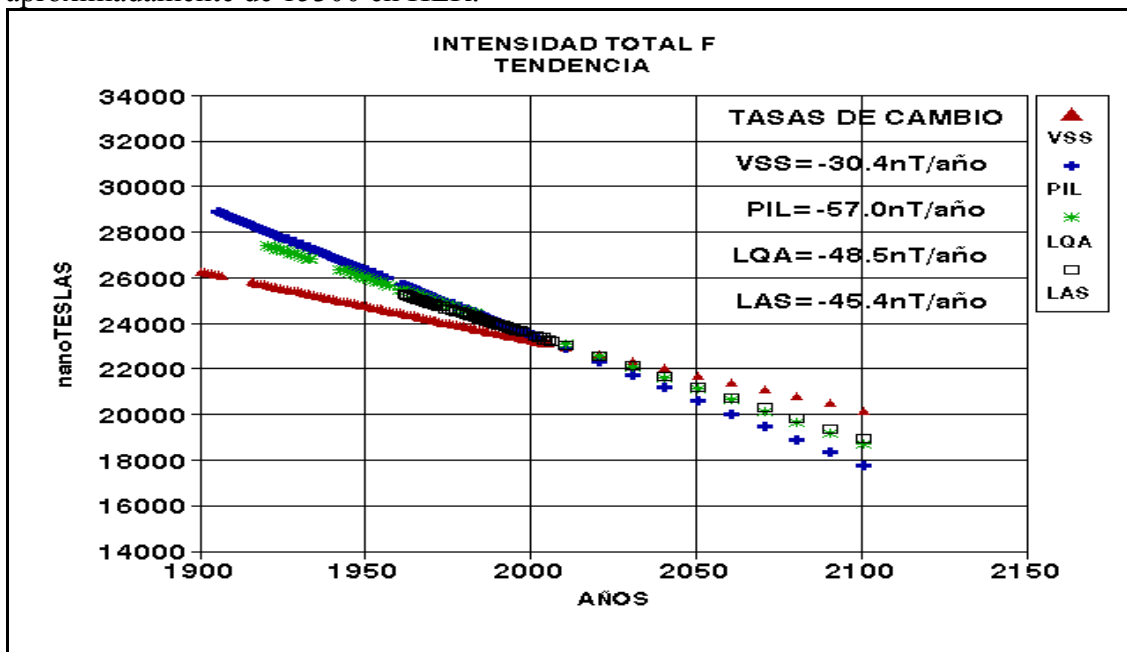


FIGURA 7: Rectas de mejor ajuste y valores pronosticados hasta el año 2100 para los Observatorios de VSS, PIL, LQA y LAS.

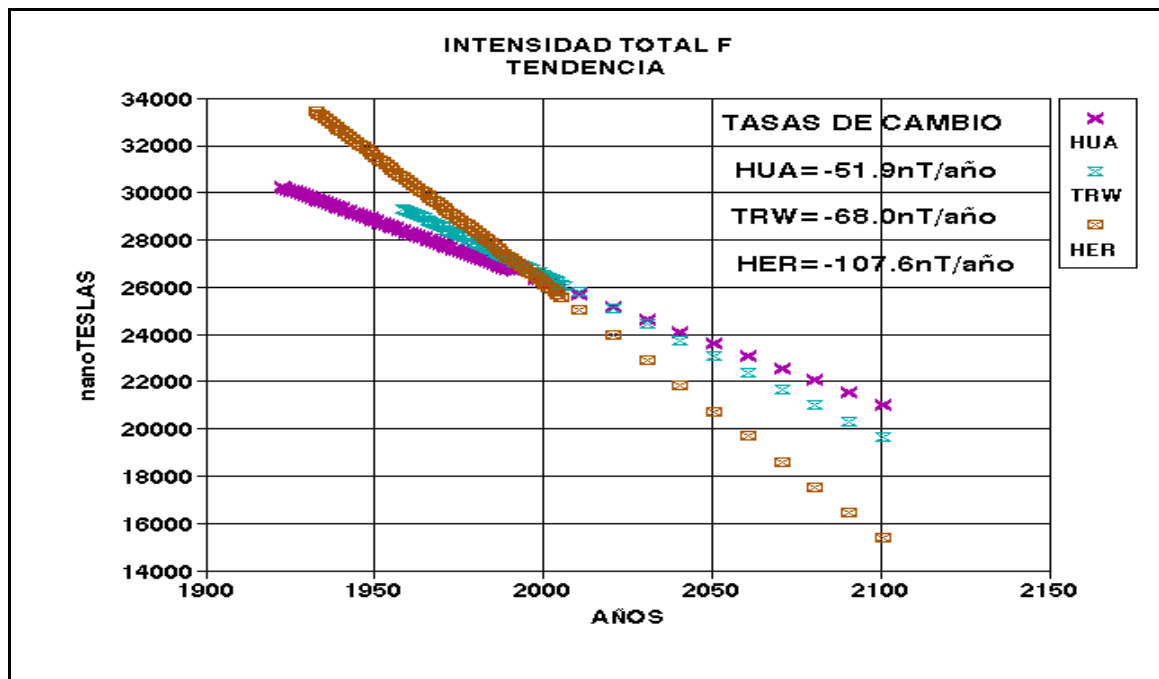


FIGURA 8: Rectas de mejor ajuste y valores pronosticados hasta el año 2100 para los Observatorios de HUA, TRW y HER.

La actividad particulada del sol será mas intensa en la región de la AMAS, produciendo entre otras perturbaciones mayor perdida de información en los circuitos biestables satelitales que crucen por esta región. Un ejemplo de ello se muestra en la figura 9. Un estudio reciente realizado por Gianibelli (2007) arrojaron valores para la variación secular de la intensidad total del campo magnético terrestre de -99nT/año para ORC y de -114.1nT/año para AIA. Esto comprueba una vez más la amplificación de la AMAS la cual es representada por una extrapolación lineal de la variación secular por el modelo del IGRF que podemos observar para los años 1900, 2000 y el extrapolado para el 2100. Este resultado se muestra en la figura 10.

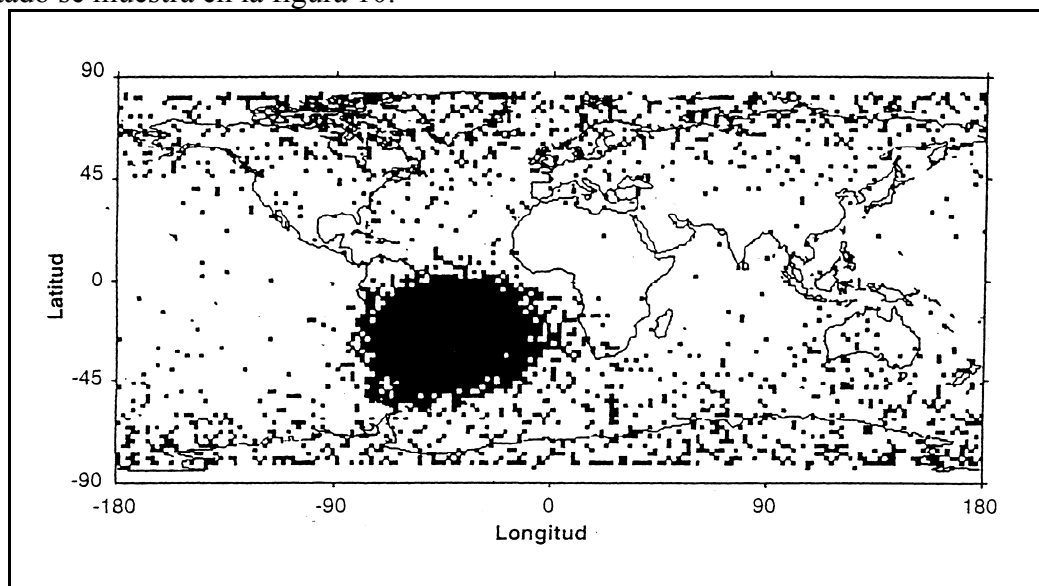


FIGURA 9: Pérdida de la información en los bancos de memoria en los satélites cuando éstos cruzan la Anomalía Magnética del Atlántico Sur. Estadística entre 1988-1992.

IGRF: VISTA COMPARATIVA 1900-2000-2100

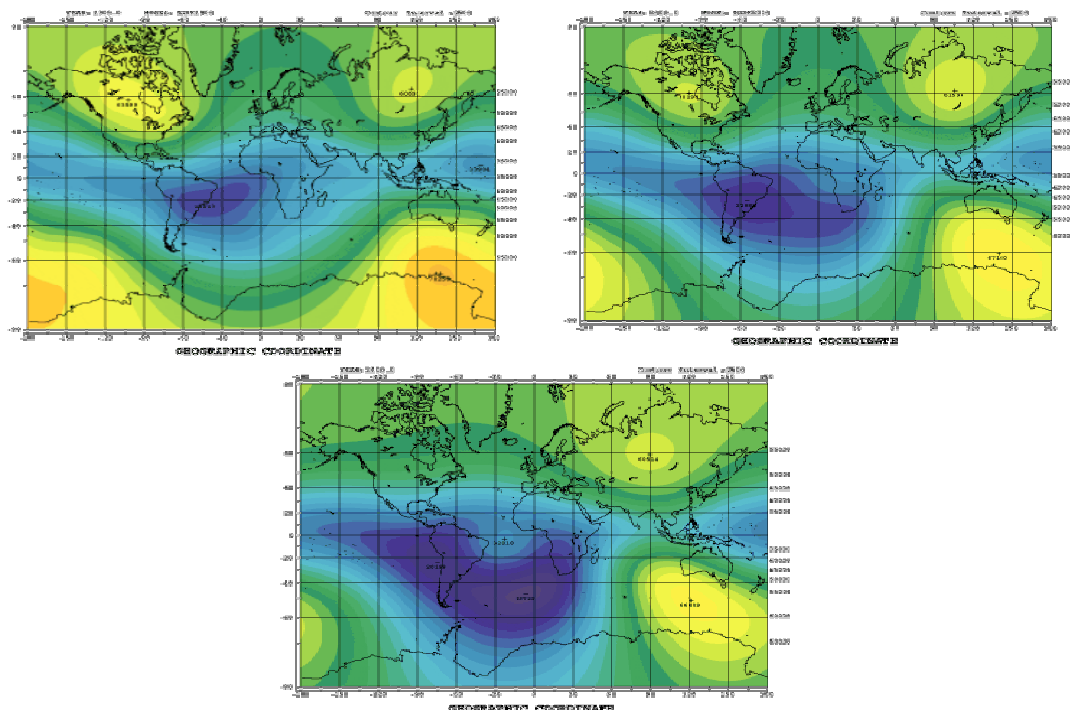


FIGURA 10. Evolución de la AMAS. Fuente World Data Center C- Kyoto-Japon. Se evidencia la enorme área abarcada por la AMAS y la migración del polo norte magnético

Es importante entonces resaltar el rol fundamental de la información producida y disponible en las bases mundiales de valores medio anuales de LQA, PIL y ORC. En el escenario geosistémico y de la conexión Sol Tierra en la actualidad y para el futuro con el actual sistema de registro de estos observatorios, la generación de valores medios mensuales y/o anuales es básica. En particular que debe rehacer su funcionamiento a la brevedad ya que sus valores medios anuales llegan hasta 1982. El medio ambiente que toca ahora analizar esta basado en estos antecedentes y pronósticos del escenario fenomenológico, en cuanto a la estructura y reorganización de un grupo de trabajo técnico científico con formación del recurso humano y actualización del instrumental en LQA, PIL y ORC.

RESULTADOS DE LA VISITA AL OBSERVATORIO GEOFISICO DE PILAR. ESTADO ACTUAL DEL AREA DE GEOMAGNETISMO.

El objetivo de esta visita consistió en el dictado de un breve curso sobre el geomagnetismo, las aplicaciones técnicas y científicas de los registros, su procesamiento, divulgación y uso de la información por la comunidad científica internacional. Metodología de las observaciones, procesamiento, registros fotográficos. Análisis de los eventos de tormenta magnética y la conexión Sol-Tierra. Sistemas de corrientes equivalentes. La magnetósfera, la ionósfera. La variación diurna. Procesamiento de los valores mensuales y anuales, la VS. Resultados y estado actual del Geosistema desde el punto de vista del Geomagnetismo. Relevar el instrumental y recomendar si fuera necesario su rápida actualización. El curso comenzó el día 20 de Septiembre de 2007 a las 15 hs hasta las 19hs. y se dictaron sucesivas clases en el turno mañana de 8:30 a 12:30 los días 21 y 22 de Septiembre de 2007 y en el mismo horario de la tarde, totalizando un total de aproximadamente 20hs.

El personal del SMN que asistió es el siguiente:

De LQA: Sub. Principal Cornelio Alberto Murillo.

De PIL: Sub. Mayor Oscar Rueda.

Sub.Principal Jorge Paez.

Sub.Principal Roberto Guzman

Sub.Principal Angel Jesús Gonzalez

Sub.Principal Walter julio Segura

SP VII (Personal Civil) Marcos Moyano

Supervisor II Gustavo Alfredo Grumstrup (Personal civil retirado que colabora ad-honorem con el Observatorio)

Con el fin de mejorar el curso se entregó una copia para la biblioteca de tres tomos con la bibliografía básica relevante sobre generalidades del Magnetismo de la Tierra, Instrumental Clásico, Instrumental Moderno. Técnicas de Operación y copias de 2 CD con diversos artículos de investigación.

La disposición del todo el personal en adquirir mayor conocimiento, como la faceta del procesamiento de los datos realizada en PIL y mostrada en los resultados es óptima con el instrumental con que se cuenta..

El Observatorio Magnético de Pilar esta caracterizado por tres casillas, dos en uso y una sin utilizar con sus respectivos pilares y mesadas de mármol. Las mismas se encuentran sin mantenimiento, con graves deterioros en su estructura las que están construidas de madera. Debemos recordar que todo el material de construcción es no magnético. Por lo tanto debe aplicarse una profunda actividad de mantenimiento y en partes de reconstrucción de los distintos elementos dañados como se muestran en las fotografías siguientes:



Vista Panorámica



Casilla de absolutas



Casilla de variómetros vista lateral

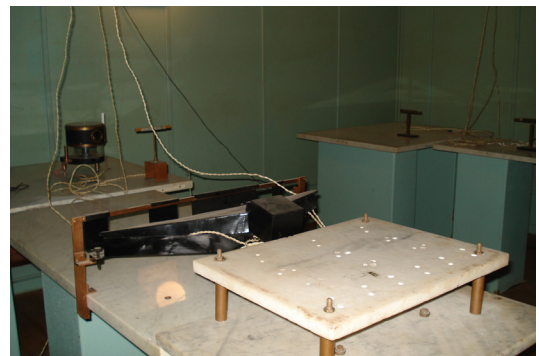
Esta casilla no tiene instrumentos por lo cual podrá ser usada por nuevo instrumental.



Casilla de variómetros vista de frente



Detalle de arreglos que debe realizarse a la casilla de variómetros. Su estructura y pilares interiores son de un valor fundamental para la instalación de futuros variómetros digitales. En las siguientes fotografías puede observarse la instalación disponible a este fin.



Casilla de variómetros en funcionamiento en la actualidad



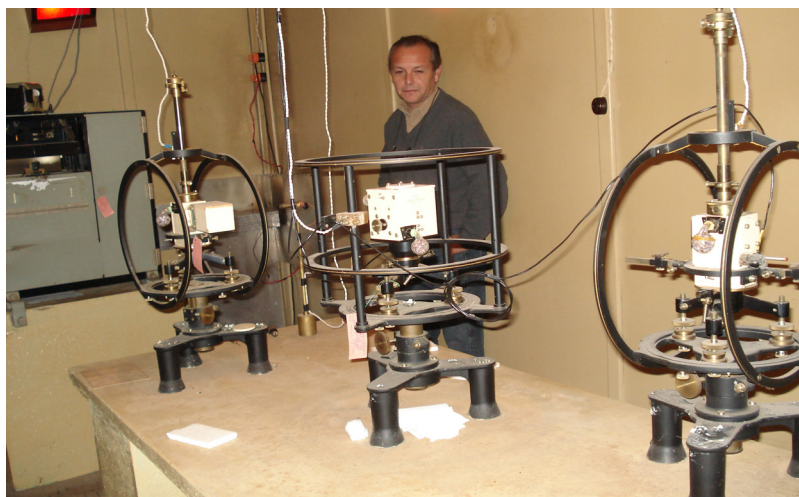
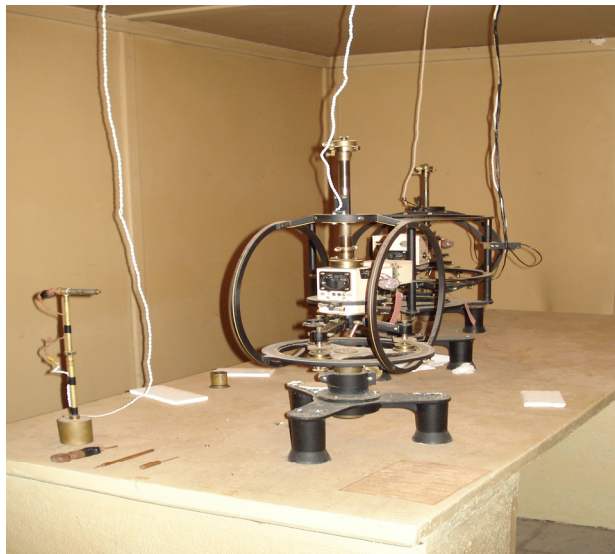
Instrumental absoluto en uso: Teodolito Flux gate para medir D e I marca EDA, y magnetómetro QHM para medir D y H.



Balanza magnetica de cero BMZ para medir Z. y tedolito de Shultz



El sistema de variómetros se muestran en las siguientes fotografías y se observa claramente el ingenio del personal para obtener el registro arreglando y acondicionando las distintas partes del sistema.



CONCLUSION

Los observatorios de PIL, LQA y ORC son parte de una red clásica de observatorios magnéticos en el mundo. PIL es el primer observatorio magnético en Latinoamérica y conjuntamente con LQA y ORC hacen que la Republica Argentina sea a través del SMN el país con mayor información sobre la fenomenología geomagnética en el hemisferio sur después de Australia. Diversas políticas llevaron al congelamiento de la actividad científica de estos observatorios con una falta de mantenimiento de su estructura edilicia, sin actualización del instrumental, y formación del recurso humano.

El instrumental es clásico de mas de 50 años de antigüedad tecnológica (QHM Y BMZ) y cuyos repuestos ya es casi imposible conseguir, en particular las fibras de cuarzo del cual pende los imanes. Un caso especial es teodolito magnético de Shultz el cual es una pieza histórica y que en la actualidad se usa para realizar determinaciones absolutas de D juntamente con el QHM. Respecto del Teodolito Flux-Gate marca EDA el mismo necesita una comparación con otros similares. Se desconoce sus errores instrumentales. Las variaciones se realizan con un registrador fotográfico a papel, con la problemática correspondiente debido a tormentas magnéticas severas su registro supera en ancho del papel y se pierde entonces información valiosa que no se registra. El procesamiento se realiza en forma clásica como fue descripta mas arriba resultando en 24 valores promedios horarios absolutos por día de cada componente D, H, y Z. Resumiendo es de suma importancia modernizar el instrumental a partir de sistemas de registros digital cuya resolución temporal es de 1 minuto, con procesamiento totalmente automatizado similar al clásico. Las observaciones absolutas deben realizarse con teodolitos flux-gate para D e I y con magnetómetros de precesión protónica para F cuya precisión es de 0.1nT.

La experiencia recibida en esta visita en PIL es muy importante ya que el personal afectado a la misma manifiesta la imperiosa necesidad de saber porqué, para qué y qué utilidad tienen todas las determinaciones que ellos efectúan. Del análisis realizado del escenario gesistémico y de los resultados obtenidos de la visita a PIL se desprende las siguientes sugerencias de implementación en un intervalo de tiempo lo más rápido posible el cual es extensible a LQA y a ORC

- 1) Tareas de mantenimiento y arreglos de la infraestructura edilicia. Actividad esta fundamental para realizar el paso siguiente.
- 2) Visto que en PIL existe una casilla disponible con excelentes pilares, se sugiere se analice las distintas posibilidades de adquisición de instrumental de registro digital. De ser posible para los observatorios de LQA y ORC. Como también de 3 magnetómetros de precesión protónica y 3 teodolitos Flux-Gate. Instrumentos estos para efectuar las observaciones absolutas con la precisión internacional requerida 0.1nT. Este instrumental funcionará en paralelo con el instrumental clásico por lo menos por un año.
- 3) Confeccionar los protocolos escritos de la operación clásica que se lleva a cabo en la actualidad y de la actividad con el nuevo instrumental moderno.
- 4) Formación del recurso humano en tres niveles, Observador, Técnico y Profesional, para lo cual se sugiere que se comience con la actividad de relacionarse los observatorios de LQA con la Universidad Nacional de Jujuy en las disciplinas de Física, Ingeniería Electrónica, y Geología., de la misma manera PIL con la Universidades Nacionales de Córdoba, Buenos Aires y La Plata. En cuanto a ORC se sugiere que el contacto con la

Universidad Nacional de Sur y de La Patagonia como asimismo el Cadic dependiente del Conicet debe tenerse en cuenta. La formación del recurso humano podría tomarla a cargo el Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía de la Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas de la UNLP.

5) Generar las bases de datos correspondientes a valores medios mensuales y valores medios anuales de las componentes registradas D, H, y Z desde el inicio de cada observatorio: LQA, PIL y ORC.

6) El Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía de la Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas de la UNLP puede dirigir los siguientes líneas de investigación:

A) Análisis y modelado de la variación secular y modelado de variaciones de largo período en la serie temporal valores medios de PIL, LQA y ORC

B) Impulsos bruscos registrados en PIL durante el ciclo solar 23.

C) Los días quietos y los días calmos en PIL y en ORC.

D) Diseño de una red de puntos de repetición en la Republica Argentina para un mejor conocimiento de la variación secular.

E) Estudio de la variación anual y semianual en PIL y comparación con otros observatorios del hemisferio sur.

D) Análisis de la variación diurna en PIL, durante el ciclo solar 23.

7) Para el desarrollo de las actividades técnicas y de investigación y con el fin de formar el recurso humano sería aconsejable tener pasantías de alumnos de las últimos años de carreras afines.

8) Redactar un manual con los “fundamentos básicos de geomagnetismo para observadores” sin la profundidad fisico-matemática rigurosa, y dirigida al observador que desarrollo simplemente un protocolo de observaciones absolutas, cambio de banda y procesamiento clásico de bandas. Este manual también será de suma utilidad para aquellos observadores que desarrollen la actividad protocolar equivalente con los instrumentos clásicos.

REFERENCIAS:

Gianibelli J. C., 2007. La Variación Secular de los Observatorios Magnéticos de Islas Argentinas, Orcadas, Trelew y Pilar.

Langel R. A., 1987. The Main Field. In Geomagnetism. Vol 1. ed. by J. A. Jacobs. Academic Press. N.Y. pp249-512.

Laursen V. and Olsen J., 1971. Classical Methods of Geomagnetic Observations. Enciclopedia of Physics. Vol. 49 Part 3. Springer Verlag. Berlin. pp.276-322.

Malin S., 1987. Historical Introduction to Geomagnetism. In Geomagnetism. Vol 1. ed. by J. A. Jacobs. Academic Press. N.Y. pp38-40.

LA PLATA – 5 DE OCTUBRE DE 2007

UNLP-FACULTAD DE CIENCIAS ASTRONOMICAS Y GEOFISICAS

DEPARTAMENTO DE GEOMAGNETISMO Y AERONOMIA.

Email: geofisicogianibelli@yahoo.com.ar