

**TITULO DEL PROYECTO**

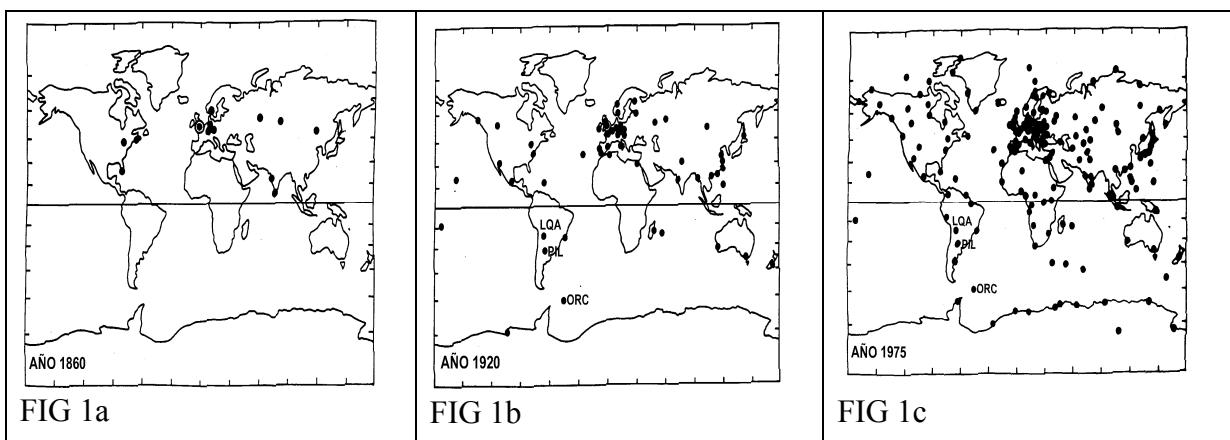
**VARIACIONES TEMPORALES EN LOS OBSERVATORIOS GEOMAGNETICOS DE LA QUIACA E ISLAS ORCADAS (REPUBLICA ARGENTINA)**

**INVESTIGADORES RESPONSABLES:**

**JULIO CESAR GIANIBELLI (UNLP) Y MONICA MARINO (SMN)**

**MARCO TEORICO - ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO**

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, Historical Introduction to Geomagnetism. In Geomagnetism. Vol 1. ed. by J. A. Jacobs. Academic Press. N.Y. pp38-40.). 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. Por otra parte estos Observatorios aportan información de los campos producidos por los sistemas de corrientes equivalentes que se encuentran en la cavidad de la magnetosfera

En un observatorio magnético permanente se producen información de los elementos geomagnéticos de los ángulos de Declinación (D), Inclinación (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=  $1\text{g}(\text{gamma})=10^{-5}$  gauss.

Cada determinación absoluta del campo magnético esta compuesto por los siguientes aportes de campo, producidas por fuentes en distintas regiones del goesistema:

- 1) Campo Principal generado en el núcleo externo de la tierra por un efecto magnetohidrodinámico denominado geodinamo.
- 2) Campo generado por la corteza terrestre y debido a las acumulaciones de minerales ferromagnéticos solidificados y cuya temperatura es menor que  $650^{\circ}\text{C}$ , a la cual comienzan a generarse los dominios magnéticos. Esta temperatura se denomina temperatura de Curie

- 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  $90^\circ$  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.

El porcentaje del registro absoluto de una componente cualquiera en un punto de coordenadas ( $\lambda$ : latitud;  $\phi$ : longitud;  $r$ : distancia geocéntrica;  $t$ : tiempo) esta dado por el siguiente diagrama conceptual:

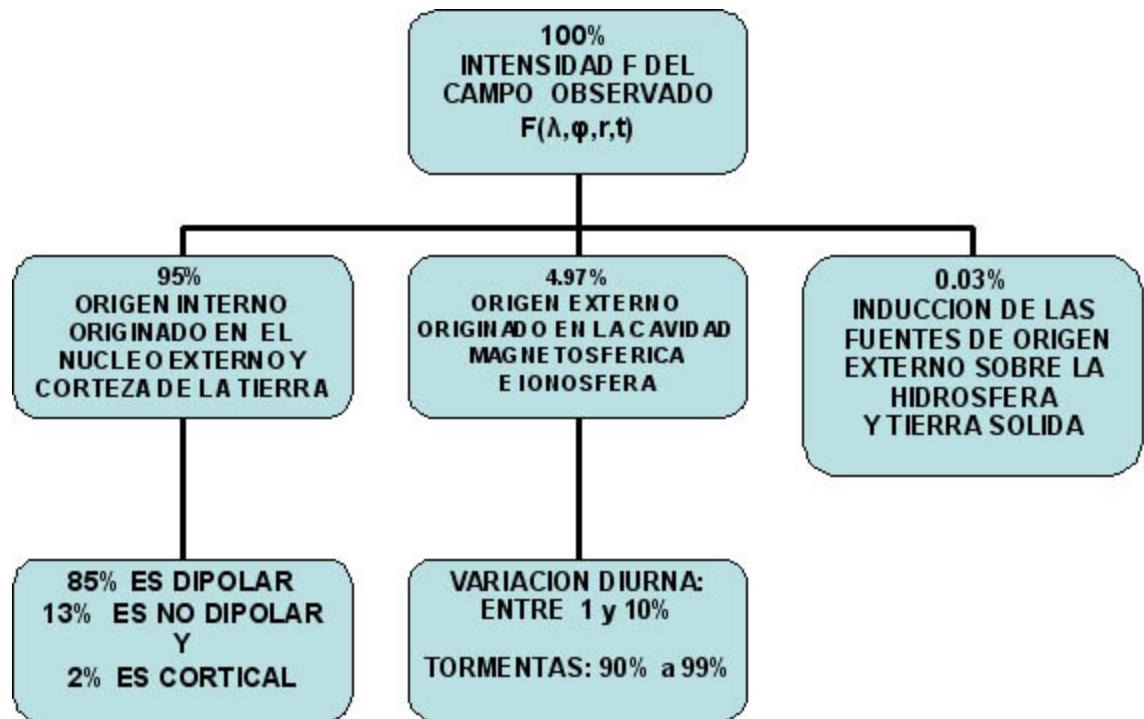


FIGURA 2

#### DIAGRAMA DEL PORCENTAJE DE CADA FUENTE DEL CAMPO REGISTRADO

El estado actual del conocimiento involucra al Observatorio Magnético de Pilar como un observatorio de referencia internacional cuya información es importante para el conocimiento de la evolución no solo de los puntos 1 y 2, sino que el punto 3 es fundamental para conocer el estadio de las variaciones producidas por la climatología espacial producto de la variabilidad de la conexión Sol-Tierra.

Observatorios digitales ya instalados han mostrado que la relación con la ubicación de estos observatorios, vecinos al de Pilar, con la gran anomalía magnética del Atlántico Sur, implica que

registros digitales son los apropiados para detectar la evolución de tormentas magnéticas producidas por las eyecciones de masa coronal solar y su diferencia con los observatorios que están fuera de esta gran anomalía, como se muestra en las figuras 3 y 4.

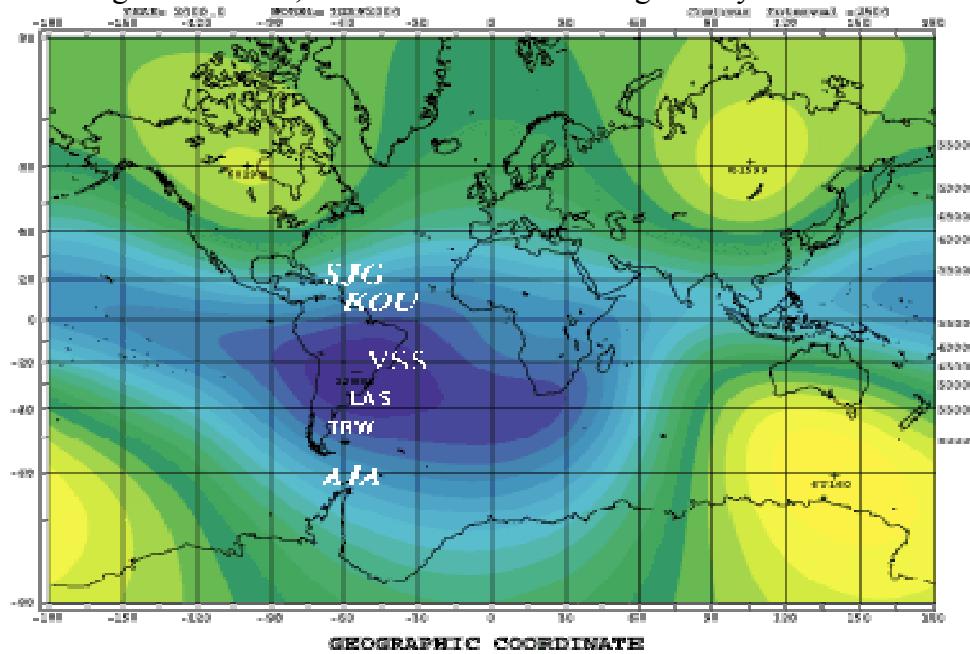


FIGURA 3

Ubicación de los Observatorios Magnéticos de San Juan de Puerto Rico (SJG), Kurú (KOU), Vasouras (VSS), Las Acacias (LAS), Trelew (TRW), e Islas Argentinas (AIA).

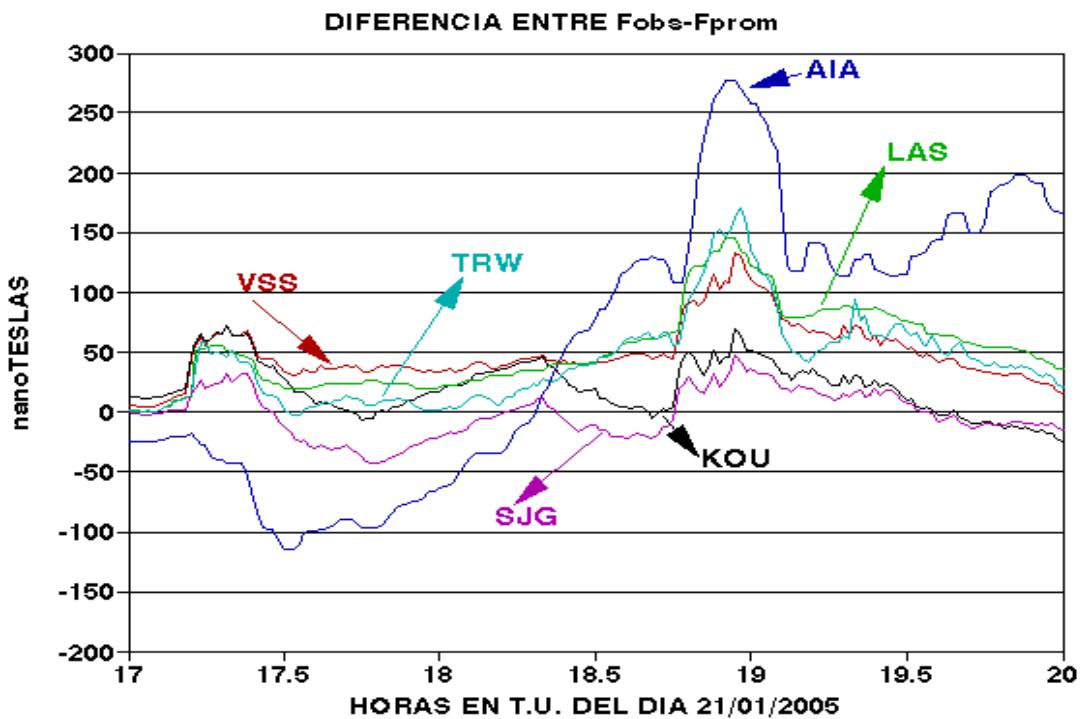


FIGURA 4. Tormenta magnética. El desarrollo para VSS, LAS y TRW que se encuentran dentro del foco de la Anomalía es diferente al de SJG, KOU, y AIA.

## **OBJETIVOS:**

*El objetivo de este proyecto es el registro, análisis y modelado de las variaciones del campo magnético producidas por las fuentes de origen externo e interno. Para ello se instalará un sistema de gran precisión y muestreo temporal de las componentes del campo geomagnético en los Observatorios Geomagnéticos Permanentes de Islas Orcadas y La Quiaca.*

## **METODOLOGIA**

La metodología a utilizar está basada en instalar un sistema digital de registros normalizado y similar en todos los Observatorios Magnéticos de la Red Mundial Permanente denominada INTERMAGNET. La red en la actualidad cuenta con los siguientes Observatorios como se muestra en la Figura 5.

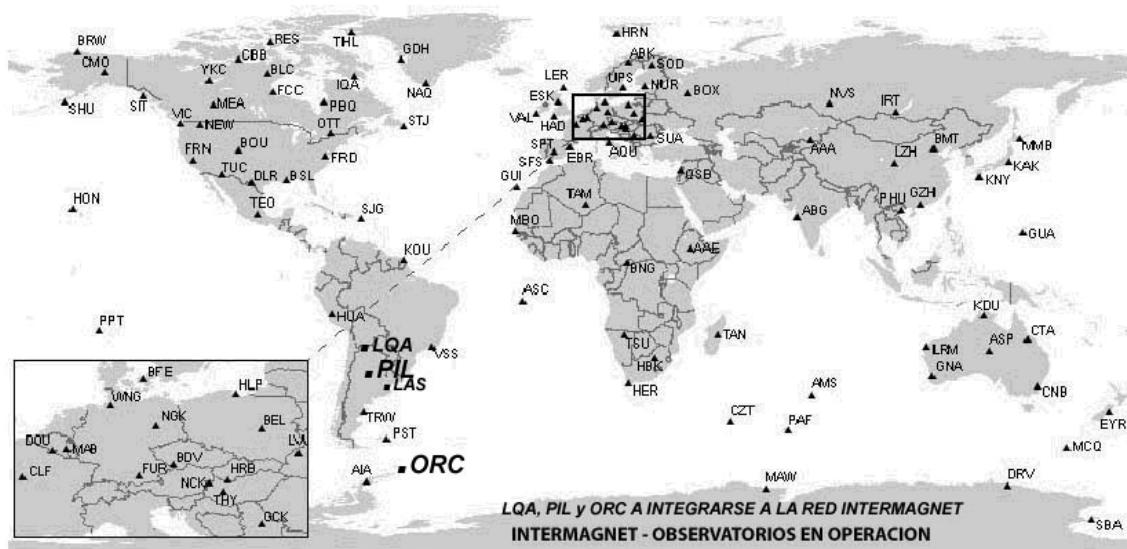


FIGURA 5: Se observa que la red en Sudamérica es pobre y por ende PIL, LQA y ORC cubrirán una parte de la región del continente. Se recuerda que LAS no es de la red Intermagnet ya que solo registra digitalmente la Intensidad Total F.

Estos nuevos equipos diseñados específicamente por Intermagnet cuentan con sensores Fluxgate triaxial (X,Y,Z) para el registro digital de las variaciones de las componentes y de la intensidad total F del campo magnético mediante magnetómetro de precesión protónica.

Los archivos tendrán formato decimal en unidades de nT y tendrán dos características, archivos crudos y archivos procesados.

Sobre estos archivos se analizarán las características de las variaciones del campo y se clasificarán para aplicar diferentes métodos estadísticos de determinación de índices de calidad e índices de actividad. De ello se aplicarán métodos de análisis espectral para el estudio de las variaciones diurnas y su comparación con otros observatorios. Así mismo para el estudio de tormentas magnéticas y su vinculación con los fenómenos solares.

Se continuará con las comparaciones con los modelos de IGRF y se estudiarán las ondas de largo período.

## **PLAN DE TRABAJO:**

**ETAPA 1:** Estudio de la información existente para el análisis de los largos períodos registrados y variabilidad respecto de los modelos campo basados en equipamiento clásico de registro fotográfico.

**ETAPA 2:** Instalación de equipos de registro digital e incorporación del Observatorio Magnético Islas Orcadas a la Red Intermagnet con sistema Indigo y puesta en funcionamiento de un magnetómetro de precesión protónica y Variómetro Indigo en La Quiaca.

**ETAPA 3:** Análisis comparativo de los registros y desarrollo de las bases de datos e índices de calidad y actividad. Procesamiento de la información.

**ETAPA 4:** Determinación de los días calmos y estudio de las variaciones Solares Calmas y efectos Lunares.

**ETAPA 5:** Estudio de las tormentas magnéticas y su relación con los fenómenos producto de la conexión Sol-Tierra.

**ETAPA 6:** Cursos de capacitación. Publicación de los resultados. Envío de los datos a los centros Mundiales.

#### CRONOGRAMA POR SEMESTRES

Año Semestre	2012 01	2012 02	2013 01	2013 02	2014 01	2014 02	2015 01	2015 02	2016 01	2016 02
TAREA 01	X	X	X	X	X	X				
TAREA 02		X	X	X	X	X	X	X	X	X
TAREA 03		X	X	X	X	X	X	X	X	X
TAREA 04			X	X	X	X	X	X	X	X
TAREA 05			X	X	X	X	X	X	X	X
TAREA 06			X	X	X	X	X	X	X	X

**RESULTADOS ESPERADOS:** Comprobar efectos de la ubicación geográfica de LQA, ORC, frente a los Observatorios de VSS, LAS, y TRW y ORC frente a LQA que es mediterráneo, frente a los demás que están en regiones costeras y oceánicas del Sur como el de AIA. Estudiar las variaciones diurnas según distintos parámetros geofísicos y su modulación estacional tal como la determinada para TRW.

Resultados recientes de TRW se muestran en las figuras 6 y 7 para la variación diurna calma registrada en los años de baja actividad solar de 2007 y 2008 respectivamente.

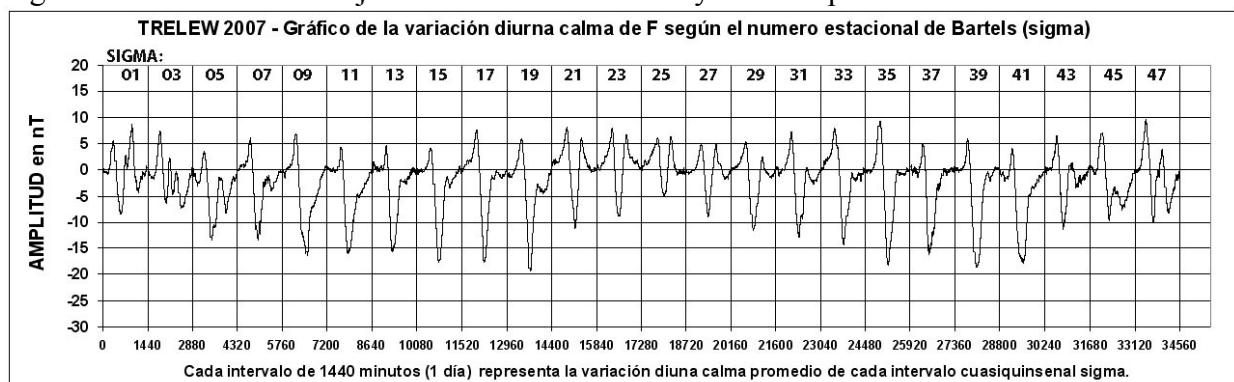


FIGURA 6

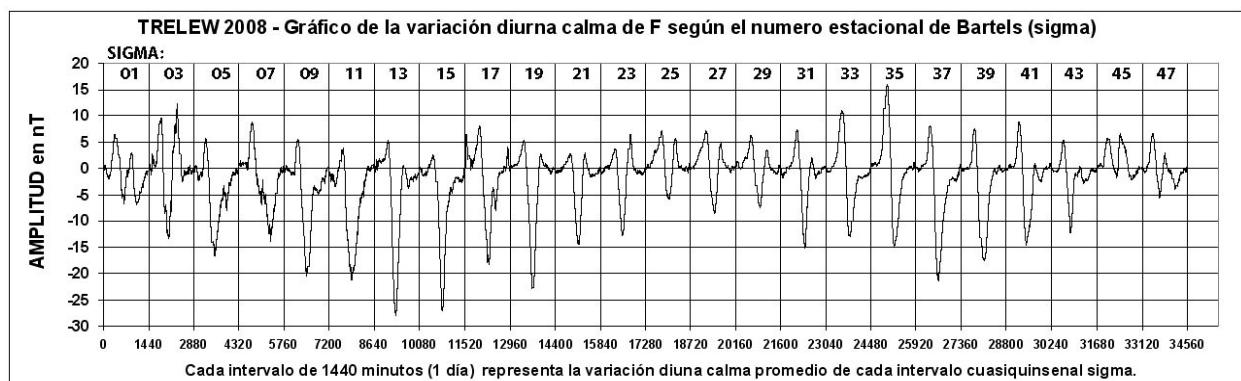


FIGURA 7

Estos resultados y la metodología aplicada permitirán la detección de efectos inductivos de las corrientes oceánicas sobre TRW y del Río de La Plata sobre LAS. De la misma manera sobre Islas Orcadas. La Quiaca permitirá conocer con mas precisión el valor mínimo de la AMAS que según los modelos esta previsto su pasaje por esa región.

**RESULTADOS OBTENIDOS (SI LOS HUBIESE):** Desde 1905 se tienen registros de las componentes de Declinación D, y Componentes Horizontal y Vertical en forma absoluta. Estos datos permitieron estudiar la variación secular y comparar los modelos del Campo Geomagnético Internacional de referencia con los valores medios mensuales de dichas componentes, en particular con la intensidad Total del Campo Magnético.

La figura 8 muestra el cambio de la dirección al norte Magnético desde 1905 al 2005.

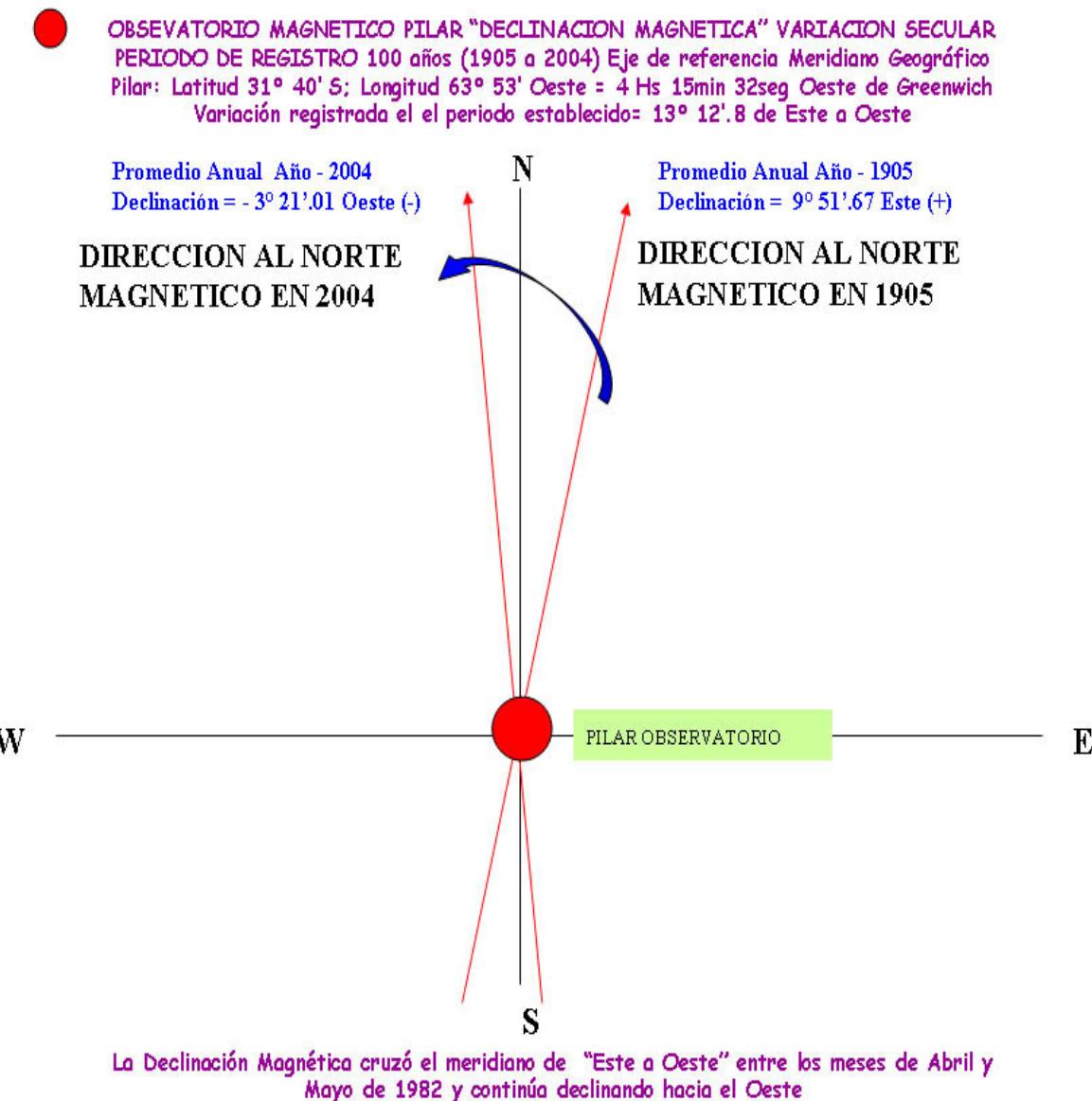


FIGURA 8

Las Figuras 9 y 10a muestran para Pilar los resultados de la comparación entre el IGRF y los valores medios mensuales registrados hasta el 2009. Estas diferencias graficadas en celeste indican la presencia de ondas de largo período en las cuales se mezclan ondas de período undecenal que pertenecen al ciclo solar. También se tienen faltantes de datos correspondientes a la destrucción del observatorio de un tornado acaecido a fines del año 1951. Estos resultados corresponden a la primera etapa del proyecto, que esta caracterizada por un análisis integral de los resultados de los sistemas clásicos de registro.

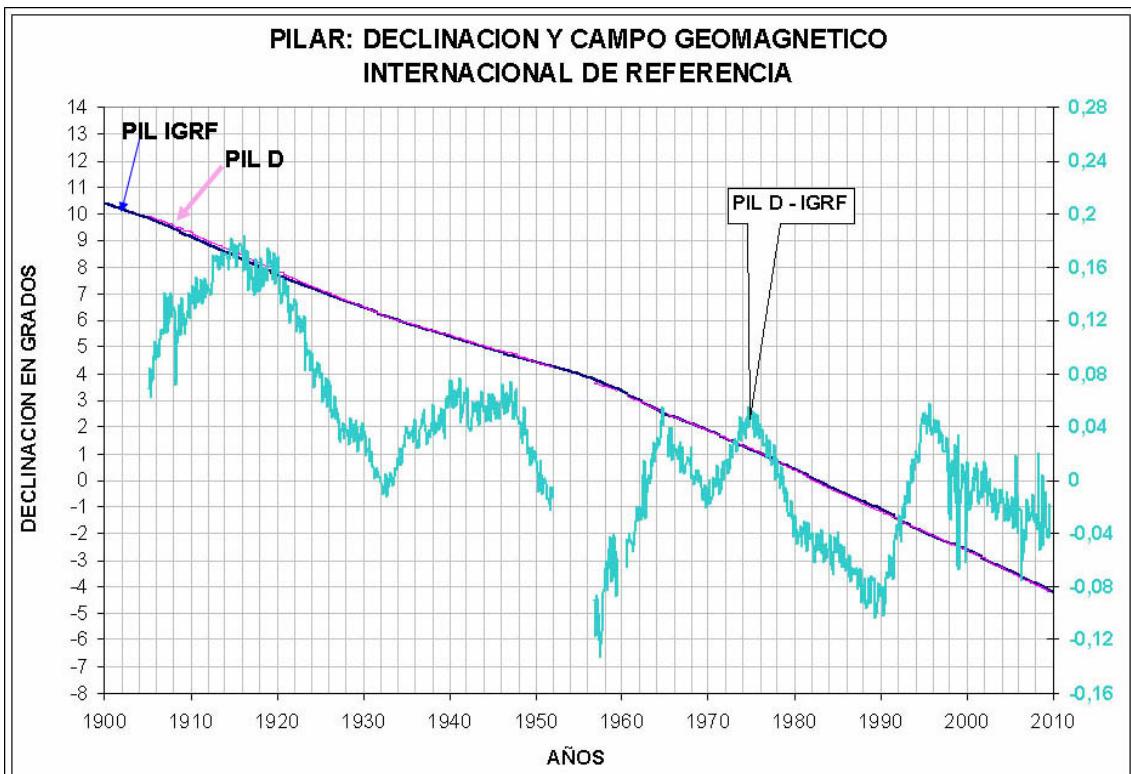


FIGURA 9

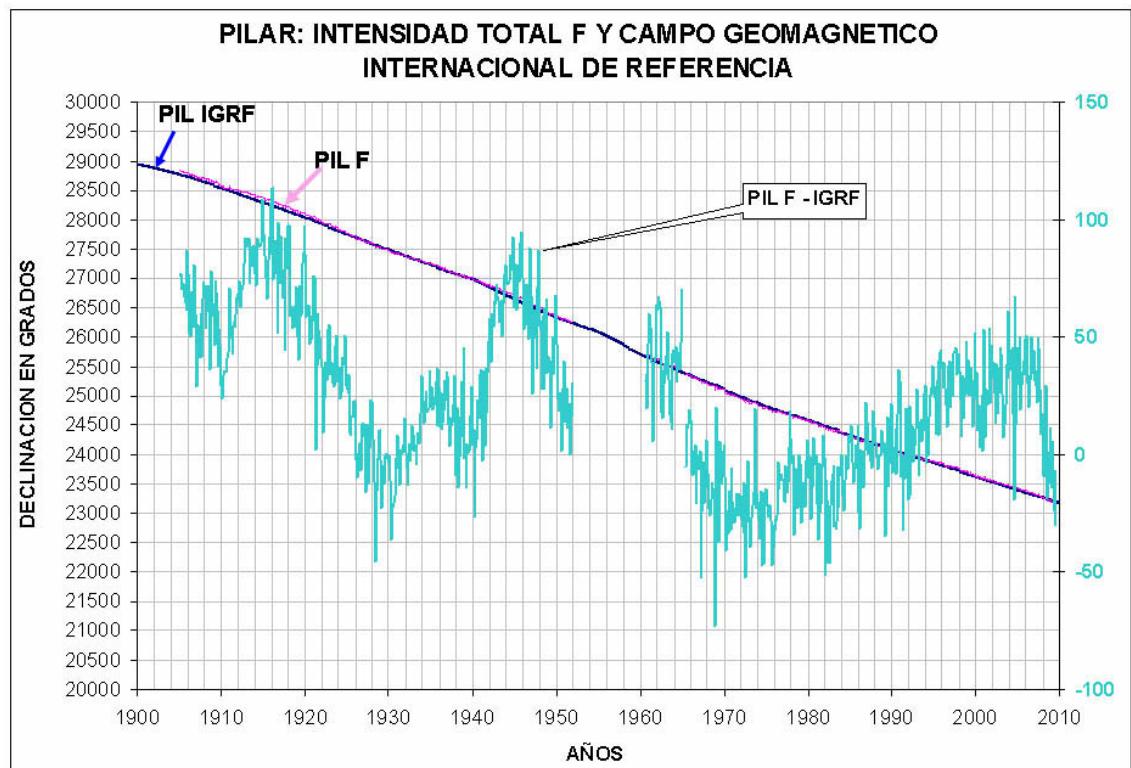


FIGURA 10a

La variación secular que se dispone de los Observatorios Geomagnéticos permanentes de Pilar

(PIL), Trelew (TRW), Islas Orcadas (ORC) e Islas Argentinas (AIA) se muestran en las figuras 10b y 10c determinándose un aumento de la variación por cada año en aumento para el sur.

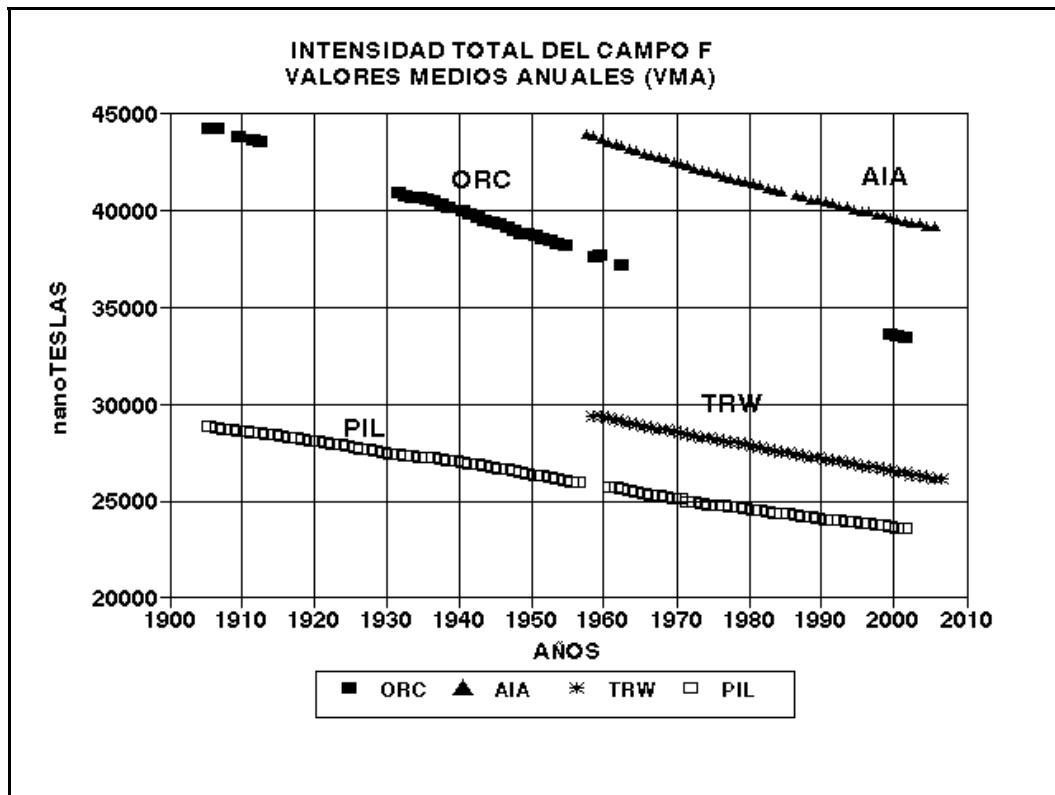


FIGURA 10b.

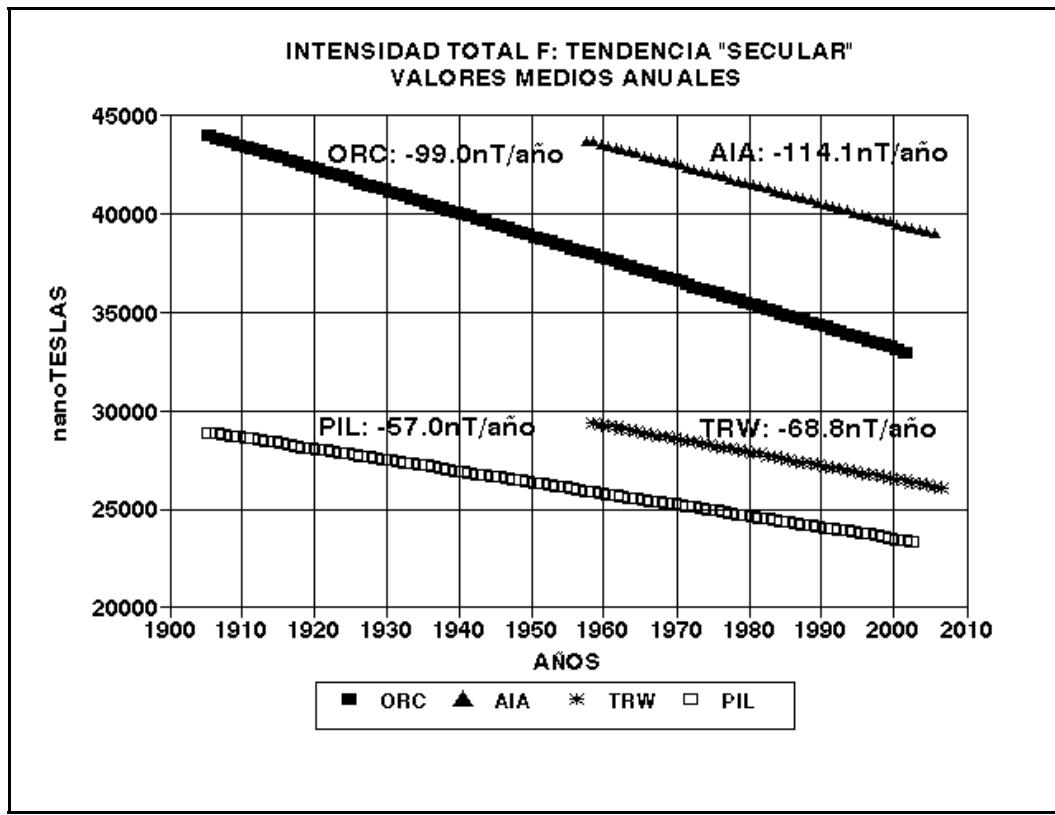


FIGURA 10c.

**REFERENCIA BIBLIOGRAFICA:**

Julio César Gianibelli, Nicolás Quaglino y Mónica Mac William.(2006), EFECTOS DE LAS ONDAS DE CHOQUE EN LOS REGISTROS DIGITALES DE TRELEW GEOACTA VOL 31, pp91-100 ISSN 0326-7237

Gianibelli, J. C., (2007). LA VARIACION SECULAR DE LOS OBSERVATORIOS MAGNETICOS DE ISLAS ARGENTINAS, ORCADAS, TRELEW Y PILAR. VI SIMPOSIO ARGENTINO Y III LATINOAMERICANO SOBRE INVESTIGACIONES ANTARTICAS- Buenos Aires , 10 al 13 de septiembre de 2007 Publicado en actas on line: <http://www.dna.gov.ar/CIENCIA/SANTAR07/CD/PDF/CFQRE201.PDF>

Gianibelli Julio César, (2008). PECULIARIDADES DEL CAMPO MAGNETICO EN LA SUPERFICIE TERRESTRE.- ACTAS XVII CONGRESO GEOLOGICO ARGENTINO (6 AL 10 DE OCTUBRE DE 2008) SAN SALVADOR DE JUJY. ISBN978-987-22403-1-8, pag. 1087-1088. <http://www.congresogeologico.org.ar/actas3.pdf>

Giabibelli Julio César, (2008). EL CAMPO MAGNETICO DIPOLAR TERRESTRE.- ACTAS XVII CONGRESO GEOLOGICO ARGENTINO. (6 AL 10 DE OCTUBRE DE 2008) SAN SALVADOR DE JUJY. ISBN978-987-22403-1-8, pag. 1085-1086. <http://www.congresogeologico.org.ar/actas3.pdf>

Gianibelli Julio César y Nicolás Quaglino, (2008). EL CICLO SOLAR Y LA VARIACION SECULAR EN EL OBSERVATORIO MAGNETICO DE TRELEW.- ACTAS XVII CONGRESO GEOLOGICO ARGENTINO. (6 AL 10 DE OCTUBRE DE 2008) SAN SALVADOR DE JUJY. ISBN978-987-22403-1-8, pag. 1091-1092. <http://www.congresogeologico.org.ar/actas3.pdf>

Gianibelli J. C. y N. Quaglino, (2008). EVOLUCION DURANTE EL CICLO SOLAR 23 DE LOS NIVELES DE MENOR ACTIVIDAD DE LA VARIACION DIURNA PARA LA CORRECCION DE LOS RELEVAMIENTOS MAGNETICOS. ACTAS XVII CONGRESO GEOLOGICO ARGENTINO(6 AL 10 DE OCTUBRE DE 2008). SAN SALVADOR DE JUJY. ISBN978-987-22403-1-8, pag. 1089-1090. <http://www.congresogeologico.org.ar/actas3.pdf>

**FECHA DE INICIO 01-ENE-2012 FECHA DE FINALIZACION: 31-DIC-2016**

**JUSTIFICACION DE LA COMPRA EN EL MARCO DEL PROYECTO:**

La justificación del cambio del sistema sensor y de registro se basa en la calidad de la información generada hasta el presente, la cual es de menor precisión y su soporte analógico (magnetogramas) impide una igualación a los sistemas modernos de registro digital basados en principios de precesión protónica y compuerta de flujo.

En la actualidad el registro de las variaciones es por medio de magnetogramas y el sistema sensor se basa en el principio de un imán suspendido de un fibra de cuarzo que interactúa con el campo magnético de la Tierra para la determinación de D y de H, mientras que Z se determina dicha variación por medio de un imán que oscila con cuchillas de ágata en un plano de cuarzo o también con sistemas de fibras de cuarzo u oro que actúan como ejes horizontales de torsión, (Figura 11).

En al Figura 11 se tienen la descomposición en un sistema de coordenadas georeferenciado los elementos geomagnéticos, un diagramación de cómo funciona el sistema actual y una foto de cómo son los sensores y registrador en Pilar similares a los de Islas Orcadas y La Quiaca.

Intermagnet es una red que posibilita cambiar los sistemas clásicos de registros con altos costos de mantenimiento y atención diaria de cambio de banda por sistemas automáticos digitales. La lectura ocular de los magnetogramas se realiza con una determinación de 15 minutos entre datos como factible, y para el caso de digitización la estimación temporal de cada ordenada es con un error de 20s entre las mismas detectadas, para armar un archivo de 1440 valores para un día.

El sistema digital facilita notablemente la tarea de atención y procesamiento, mientras que las determinaciones de línea de base se reduce en un 30% y agiliza en un 40% el tiempo necesario para las determinaciones de los valores absolutos con un teodolito fluxgate. (el mismo principio de determinación de las variaciones).

Otra de las facilidades académicas y científicas del sistema Intemagnet se encuentra interconectado con una base de datos internacional cuya confección es con el mismo principio que el que se dispondrá en Pilar, cumpliendo con el objetivo básico del Servicio Meteorológico Nacional, ser un servicio para la comunidad, la industria, la tecnología y la ciencia.

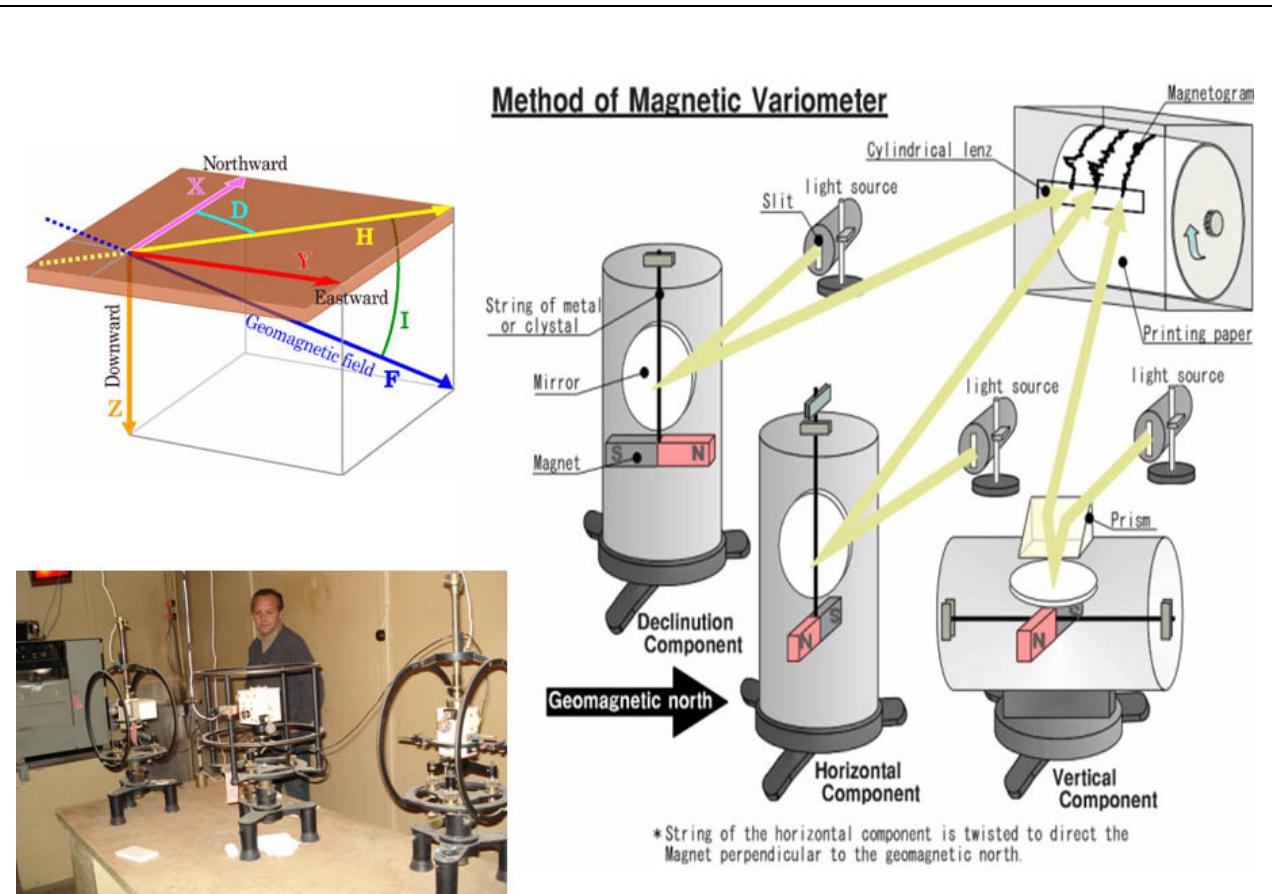


FIGURA 11 Vista de las componentes del campo magnético, sistema de sensores y registros actualmente en funcionamiento en Islas Orcadas y La Quiaca.

El sistema que se instalará en Islas Orcadas y La Quiaca esta constituido por los sensores siguientes:

- A) TRIAXIAL FLUXGATE MAGNETOMETER IN 1 SENSOR HEAD and ELECTRONICS BOX.
- B) DIGITISER
- C) PROTON MAGNOMETER.
- D) GLOBAL POSITIONING SYSTEM FOR TIME CONTROL.
- E) TEODOLITO FLUX GATE
- F) MAGNETÓMETRO DE PRECESION PROTÓNICA PA RA F TOTAL.

El principio de los sensores de registros de variación es el siguiente:

**MAGNETOMETROS DE NUCLEO SATURABLE o FLUX GATE:** consisten en una o dos barras de material ferromagnético con propiedades lineales de magnetización. Uno o mas arrollamientos (bobinas) conectadas a circuitos de corriente alterna que producen un potencial de excitación y sintonización. Un tercer arrollamiento se dispone para detectar la señal de magnetización (Figura 12). Si no existe campo magnético externo o del medio ambiente (Campo Magnético Terrestre), la bobina de detección no tendrá señal (Figura 13). Al existir un campo magnético extra en el medio ambiente producido por las variaciones del Campo Magnético de la Tierra se produce una magnetización adicional en dichos núcleos que induce una corriente (y por ende una diferencia de potencial variable) en la bobina de detección, resultado un voltaje que se

mide y que es proporcional al campo magnético ambiental producido por las variaciones del Campo Magnético de la Tierra (Figura 13).

Las propiedades de los magnetómetros fluxgate se resumen en la Figura 14.

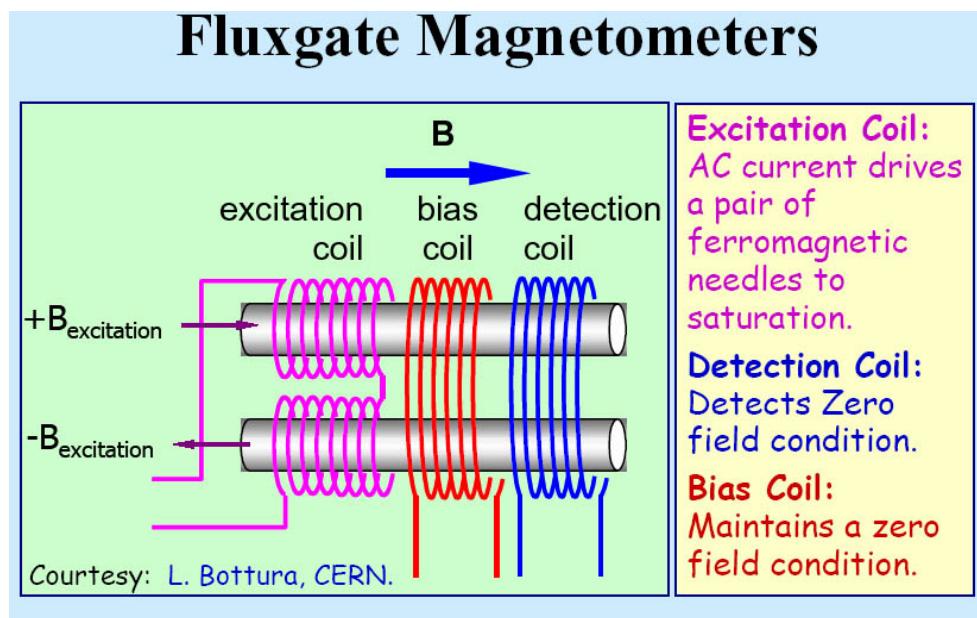


FIGURA 12. Concepto básico de la sonda Fluxgate

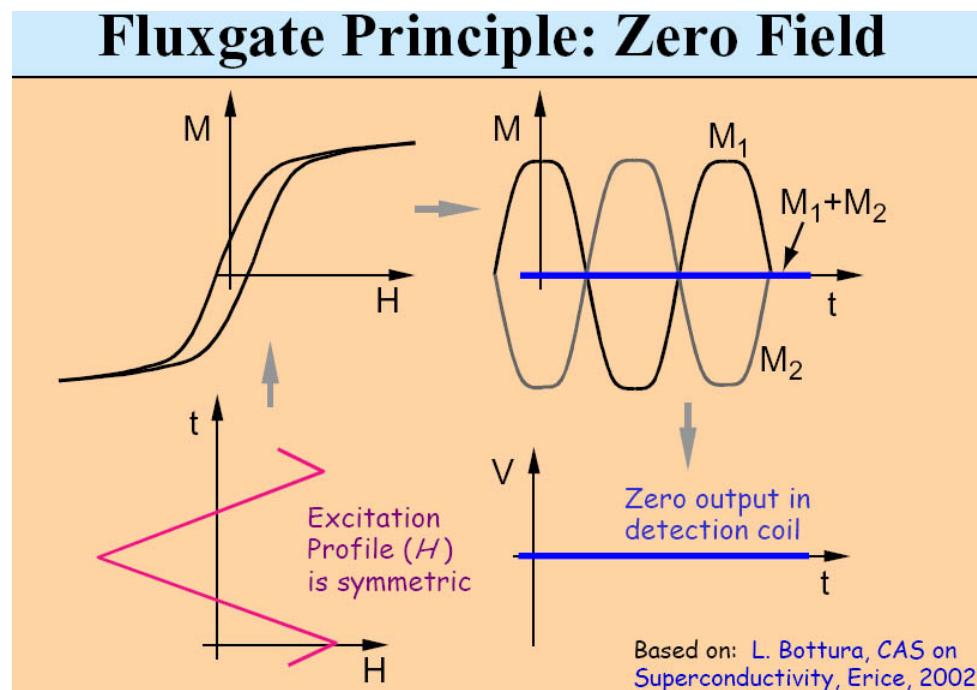


FIGURA 13: Esquema del funcionamiento sin campo magnético ambiental

## Fluxgate Principle: Non-Zero Field

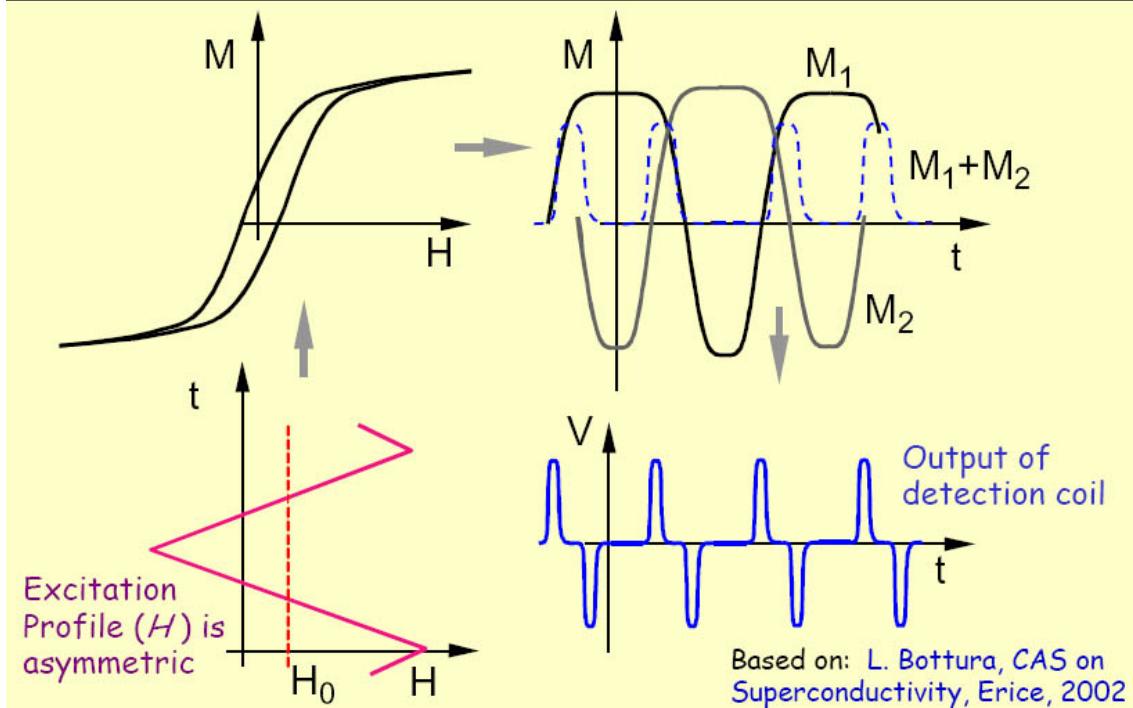


FIGURA 14: Esquema del funcionamiento con campo magnético ambiental

## Fluxgate Characteristics

- Highly sensitive, linear, directional device.
- Typical field range  $\sim$  a few mT.  
(Limited by capability of the bias coils)
- Bandwidth: DC to  $\sim$  1 kHz.
- Sensitivity:  $\sim$  20 pT ( $\sim$  1 nT commercial).
- Accuracy:  $\sim$  0.1%  
(depends on calibration and stability)
- Used in navigation, geology, mapping of fringe fields, etc.

FIGURA 15. Características básicas del sensor Fluxgate.

**MAGNETOMETROS DE PRECESION PROTONICA:** Fueron desarrollados a partir de los estudios experimentales de resonancia nuclear de la materia en diferentes estados,

particularmente el líquido. Este sistema permite determinar la intensidad total del Campo Magnético Terrestre. Para ello el sensor consiste en una botella con un arrollamiento (bobina) que puede ser exterior o interior a la misma. La botella posee un líquido cuyas propiedades son tales que se comporte como un conjunto estadístico de núcleos con protones cuyos espines puedan ser orientados. Estos líquidos son el agua, los hidrocarburos (decano) y mezclas de líquidos con radicales orgánicos. Mediante la bobina se hace circular una corriente continua de tal manera que el eje de la misma se encuentre perpendicular al meridiano magnético del lugar. De esta manera se orientan todo los espines del protón en dirección perpendicular al campo magnético del lugar. Al cortarse dicha corriente continua inician una precesión alrededor de la dirección del campo magnético del lugar la cual produce en la bobina un voltaje alterno con una frecuencia que se medirá. Esta frecuencia medida es proporcional al campo magnético del lugar y en ese instante y a la constante giromagnética del protón que es conocida. La figura 16 muestra la esencia conceptual del sensor.

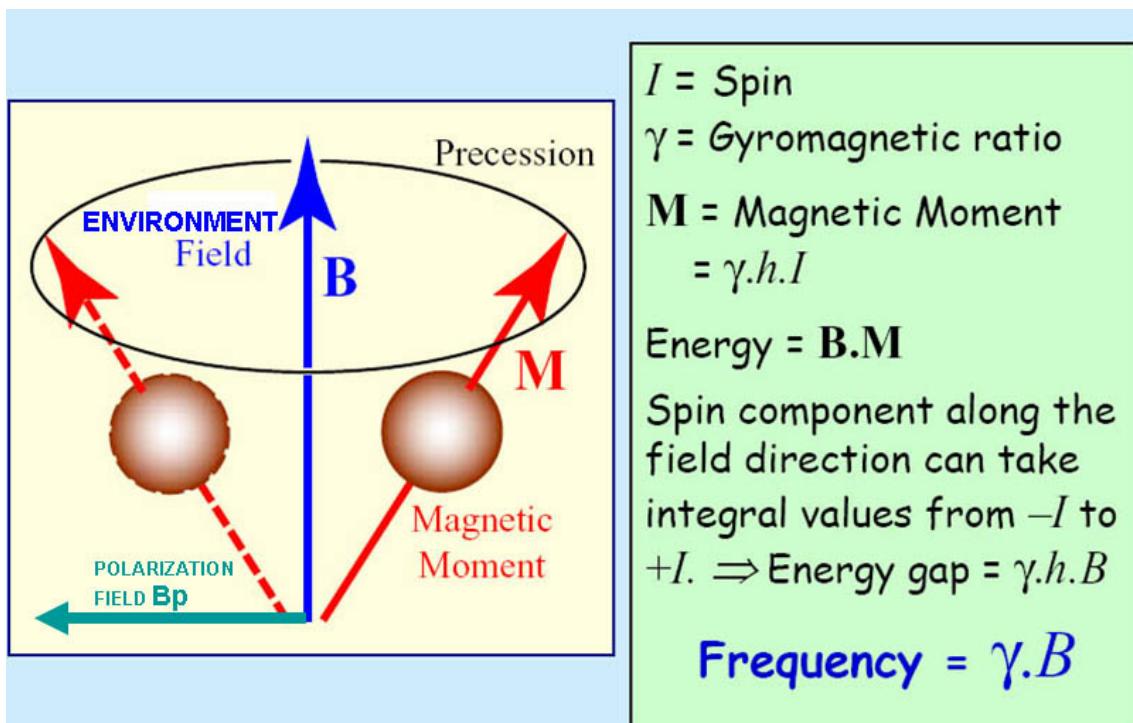


FIGURA 16. Resumen del concepto de la determinación de la intensidad total del campo B, en particular el de la Tierra

**LAS FIGURAS 12 A 16 SON TOMADAS DE LA CONFERENCIA DE LUCAS BOTTURA EN EL COMITÉ DE SUPERCONDUCTIVIDAD APLICADA REALIZADA EN MARZO DEL 2002 EN ERICE, ITALIA.**

La información recogida por estos sensores es digitizable y convertida a sistema decimal de tal manera que el magnetograma que antes era de registro analógico (magnetograma en papel) ahora resulta en un archivo que informáticamente es manejable por todos los soportes de plataforma de los sistemas operativos de que se disponen. Se dispone entonces de mayor información digitizada en intervalos de tiempo más pequeños con el control de hora por medio de un GPS dedicado.

**ESTE PROYECTO ES SUBSIDIARIO AL DENOMINADO “ESTUDIO DE LAS VARIACIONES TEMPORALES EN EL OBSERVATORIO GEOMAGNETICO DE PILAR” PUES LAS CONSIDERACIONES TEORICAS Y OBLETIVOS PARA LA INSTALACION Y OPERACION DE LOS OBSERVATORIOS PERMANENTES SON SIMILARES.**

