Imágenes: Silvana Ricci

Boletín mensual del Observatorio Magnético de Pilar

DICIEMBRE 2021

EL OBSERVATORIO

En el Observatorio Geofísico y Meteorológico de Pilar confluyen diferentes disciplinas, Meteorología, Radiación, Ozono, Sismología y Geomagnetismo. Esta última dentro del Observatorio Magnético Pilar. El Observatorio Magnético Pilar comenzó a operar en 1904 y sus registros datan desde entonces. Cuenta con instrumental el cual posee una configuración clásica acorde a la mayoría de los observatorios magnéticos. En noviembre de 2010, el Observatorio se actualizó con la instalación del Sistema INDIGO (Digital Geomagnetic Observatory) para dar inicio a registros digitales. Luego de pruebas y de ajustes del sistema, en septiembre de 2012, el Observatorio fue aceptado como miembro de INTERMAGNET (Red Magnética Internacional en Tiempo Real).

Autores: María Inés Gil, Silvana Ricci, Jesús González, Sabrina Juarez, M. Laura Cariaga, Juan Carlos Gil.

Coord. Area Geofísica: Geof. Camila Farías. cfarias@smn.gov.ar

Servicio Meteorológico Nacional

Ministerio de Defensa
Presidencia de la Nación

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

UBICACIÓN

El Observatorio Magnético se localiza en la ciudad de Pilar, en la Provincia de Córdoba, zona centro de la Argentina. Sus coordenadas corresponden:

- Coordenadas Geográficas: 31°40´00´´ S 63°53´00´´ W
- Coordenadas Magnéticas: 20°02´00´´S 04°00´00´´W
- Altura sobre el nivel del mar: 338 nmm.

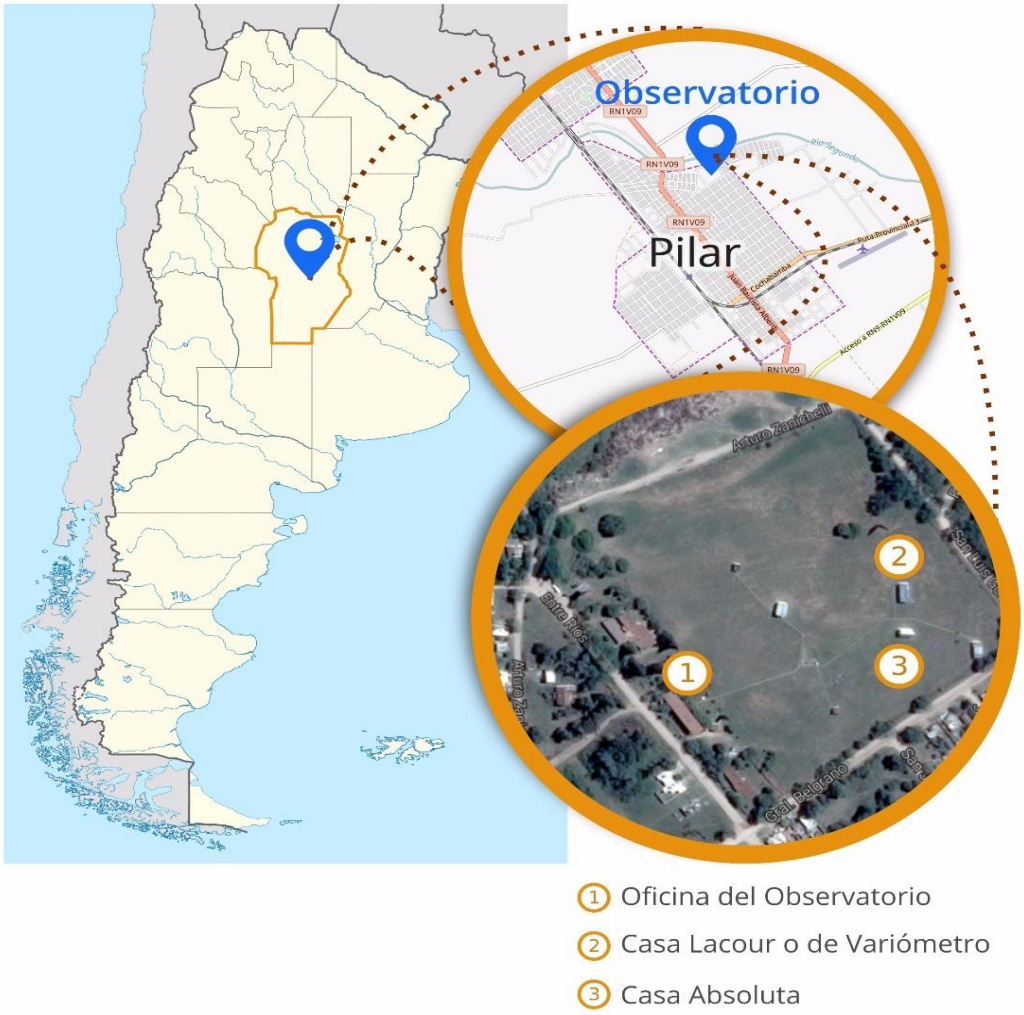


Figura 1: *Ubicación del observatorio Pilar*

CONCEPTOS TEÓRICOS

El **campo magnético** terrestre se parece al campo de una larga barra magnética o al de una esfera uniformemente magnetizada.

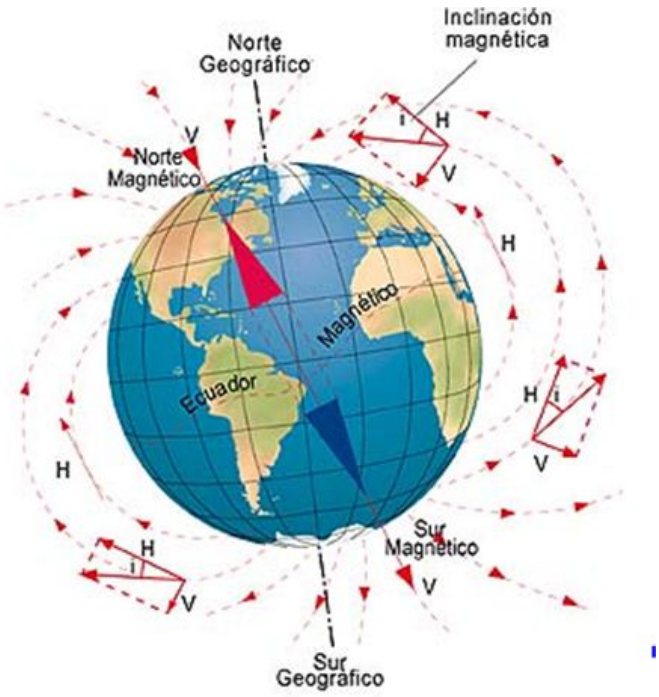


Figura 2: *Representación gráfica del campo magnético terrestre*

El campo o las líneas de flujo, siguen la trayectoria que muestra la Figura 2. Nótese que la dirección del campo es vertical en los polos magnéticos, y horizontal en el ecuador magnético. El entendimiento de esta geometría es importante para la interpretación de las anomalías magnéticas. La intensidad del campo, es una función de la cantidad de líneas por unidad de área.

La intensidad en la región polar es aproximadamente el **doble** que en la ecuatorial, oscilando entre los 60.000 y 30.000 gammas o nanoteslas (nT).

Es importante tener en cuenta que el campo Magnético varía tanto en espacio como en tiempo.

Instrumentos en éste Observatorio.

El Observatorio cuenta con un magnetómetro protónico que registra la intensidad del campo, F, un magnetómetro triaxial fluxgate para registrar la componente horizontal H, vertical Z, y la declinación D, y un teodolito que permite determinar D e I por medio de una observación. En la Figura 3 se presenta un esquema de las componentes del campo magnético enunciadas en este apartado.

Componentes Magnéticas

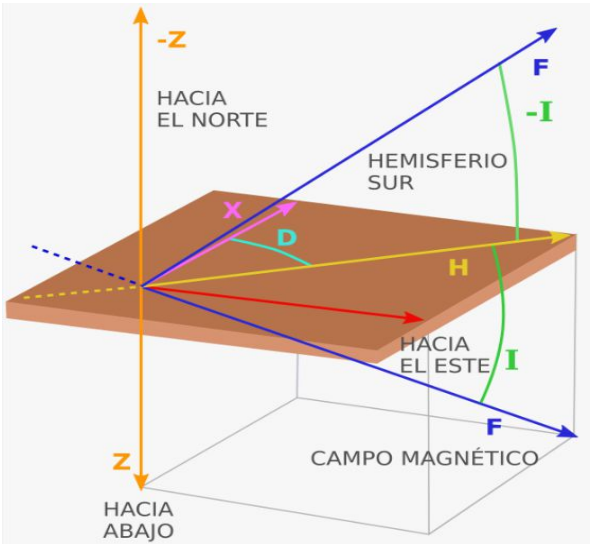


Figura 3: *Componentes del campo magnético*

DESCRIPCIÓN SISTEMA INDIGO

Este sistema proporciona el hardware y el software para operar un Observatorio Magnético Digital básico.
El hardware consiste en un magnetómetro triaxial fluxgate, un magnetómetro protónico, un Digitizador, un receptor GPS para proporcionar un tiempo exacto, un registrador de memoria USB y una fuente de alimentación DC alimentada por batería. El software,-INDIGO WATCH captura los datos del magnetómetro digitalizado, registra en el disco y realiza el análisis de datos básicos.

OBSERVATORIO MAGNÉTICO OPERATIVO

El Observatorio opera con Geomagnetic Data Acquisition System (GDAS), el mismo fue desarrollado por la British Geological Survey (BGS). El INDIGO Watch registra las variaciones de las componentes del campo magnético, pero no los valores absolutos. El operador supervisa estas variaciones.

Las observaciones absolutas conjuntamente con los datos obtenidos por el Sistema Indigo, se procesan en el software (GDAS), y producen un registro continuo de los **valores absolutos del campo magnético.**

INTERMAGNET

INTERMAGNET es una red mundial de Observatorios Magnéticos que operan casi en tiempo real. El objetivo de INTERMAGNET es establecer una red global de Observatorios Magnéticos digitales que cooperen, adoptando modernas especificaciones estándar para equipos de medición y registro, con el fin de facilitar el intercambio de datos y la elaboración de productos geomagnéticos en tiempo real.

En septiembre de 2012, el Observatorio Magnético Pilar fue aceptado como miembro de INTERMAGNET y las mediciones magnéticas generadas con el Sistema INDIGO en el Observatorio de Pilar, son reportadas diariamente a Edinburgo GIN.

La información se puede visualizar en http://www.intermagnet.org/data-donnee/dataplot-eng.php

RED INTERMAGNET

A continuación se presenta la evolución de las componentes del campo magnético para todo el mes de diciembre presentadas a la red INTERMAGNET.

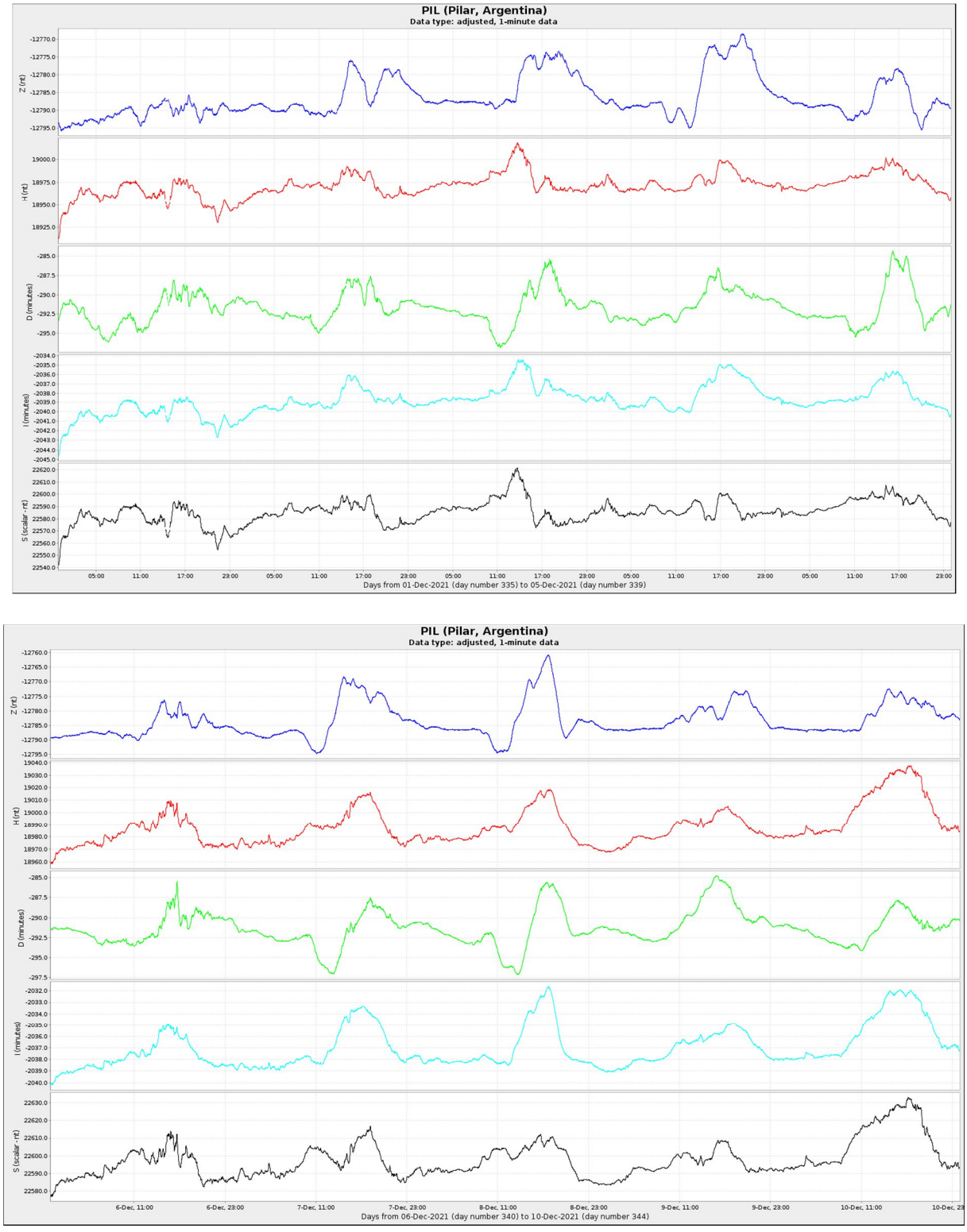
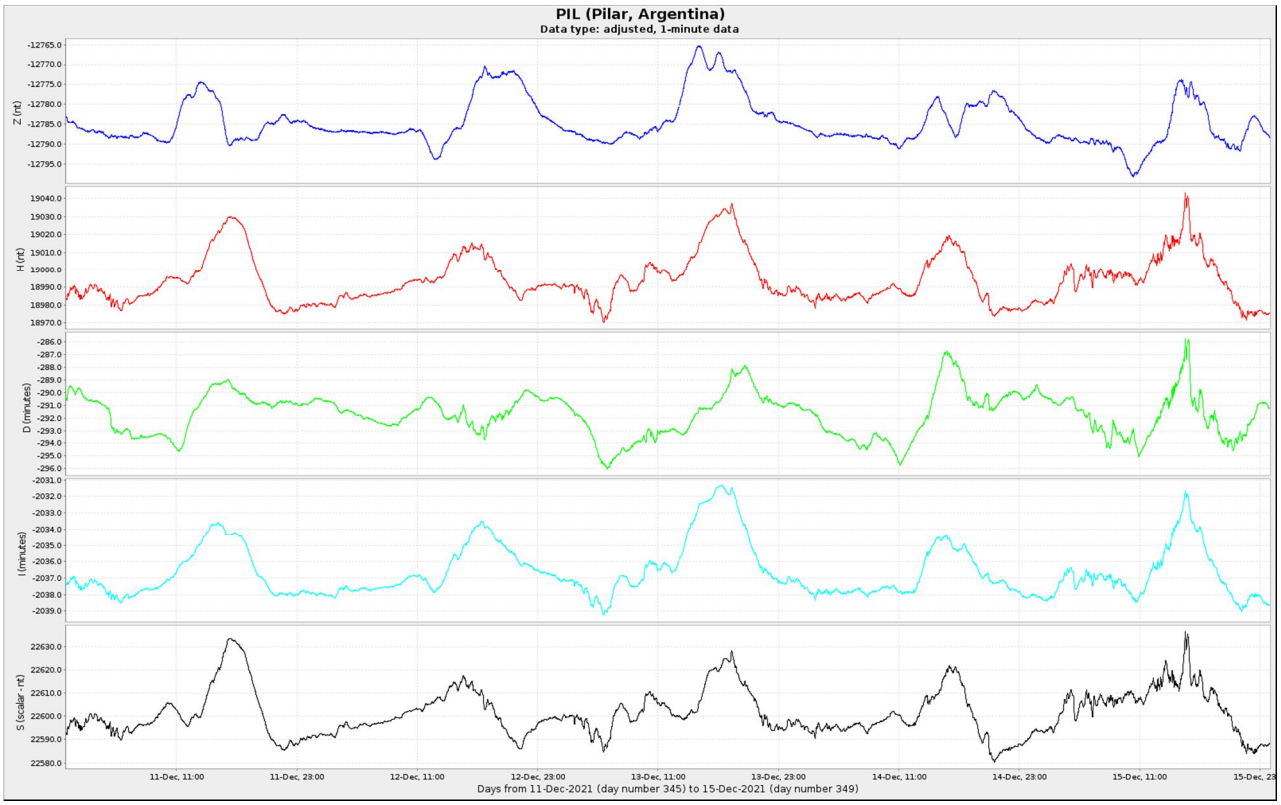


Figura 4a: *Componentes del campo magnético del día 1 al 10 de diciembre. En rojo se ve la componente horizontal (H) y en azul la vertical (Z), ambas en nT. En verde se presenta la declinación del campo magnético (D) en minutos y en negro la intensidad del campo magnético en nT*



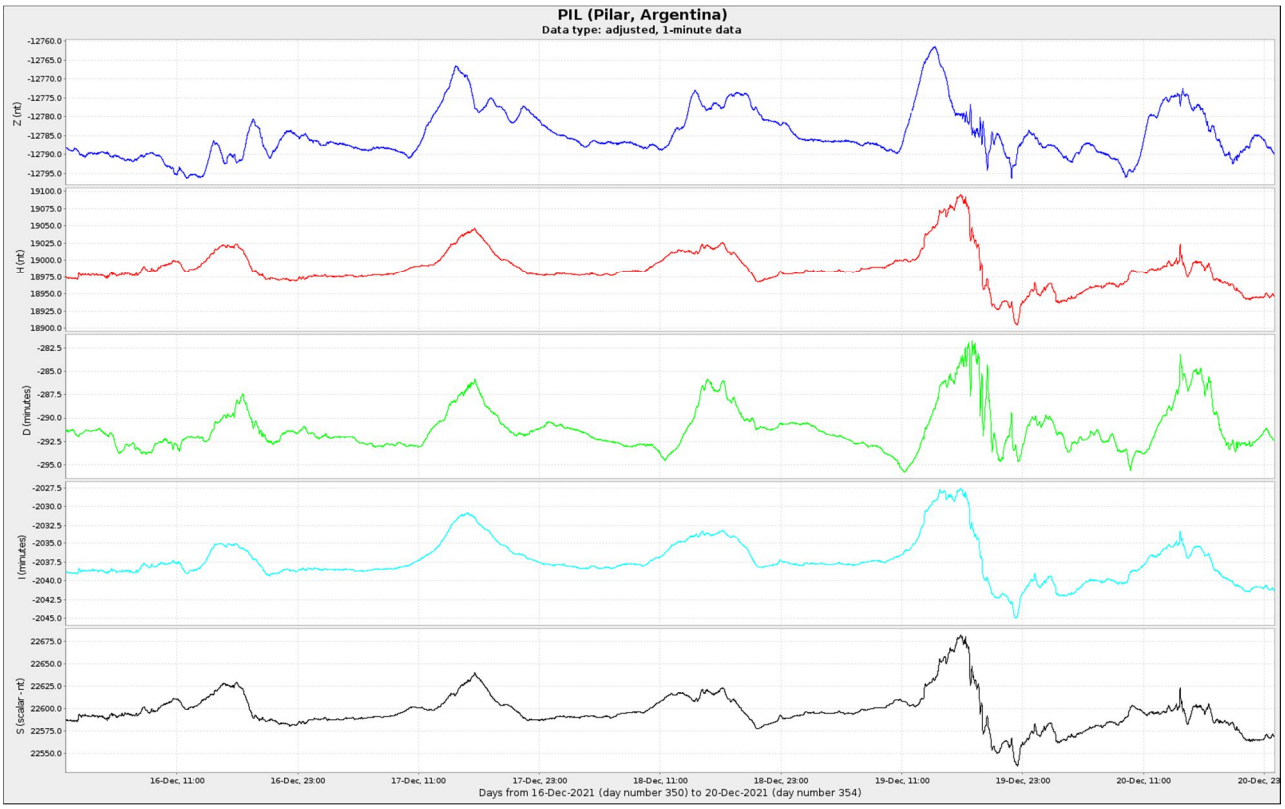
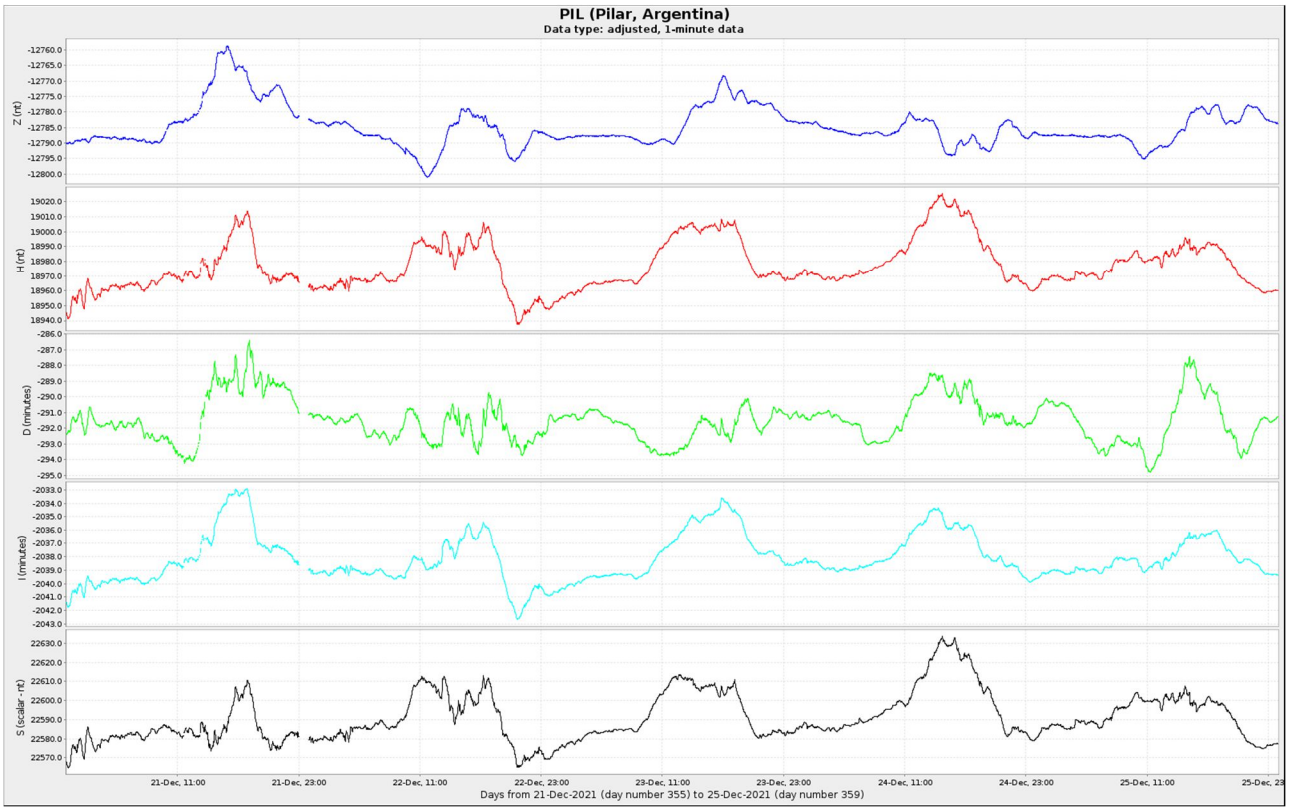


Figura 4b: *Componentes del campo magnético del 11 al 20 de diciembre. En rojo se ve la componente horizontal (H) y en azul la vertical (Z), ambas en nT. En verde se presenta la declinación del campo magnético (D) en minutos y en negro la intensidad del campo magnético en nT.*



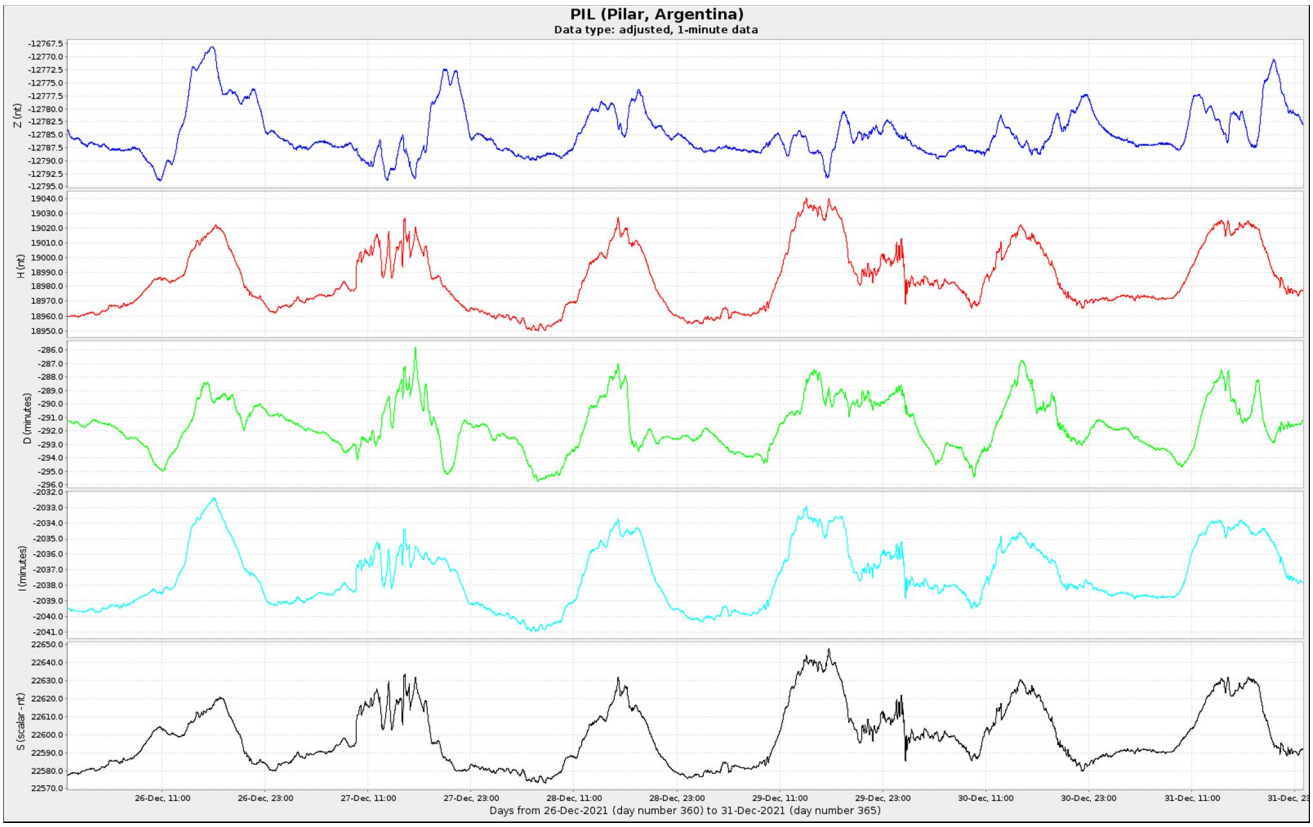
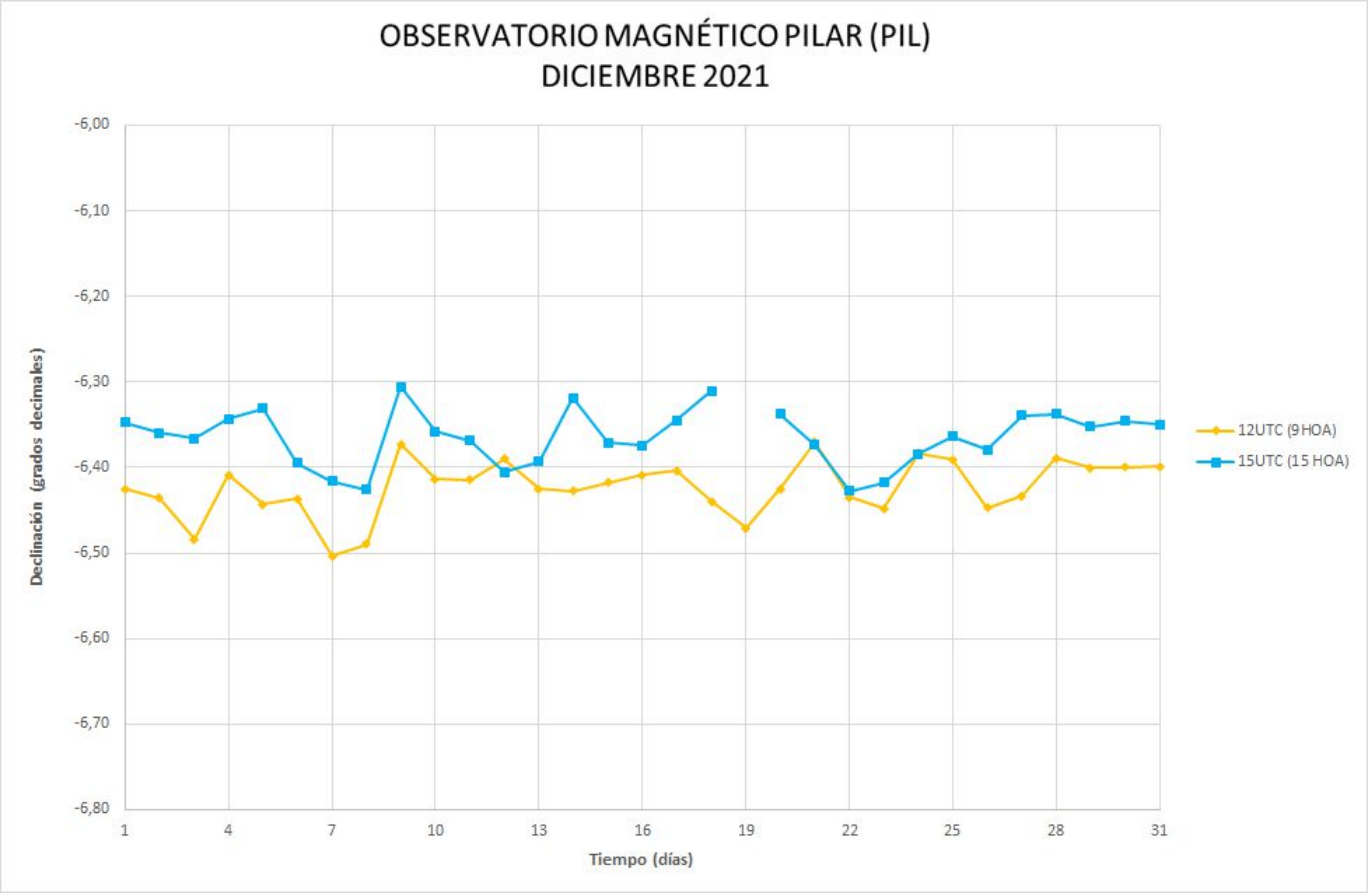
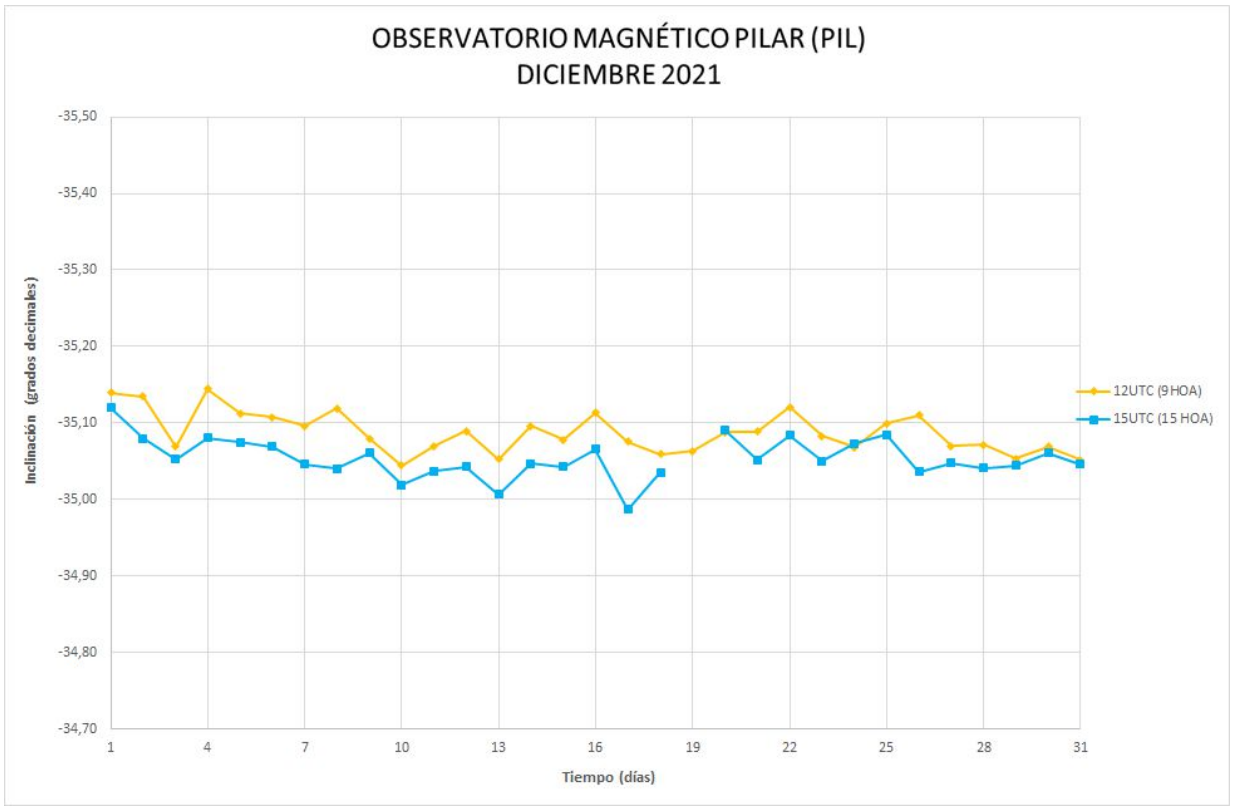


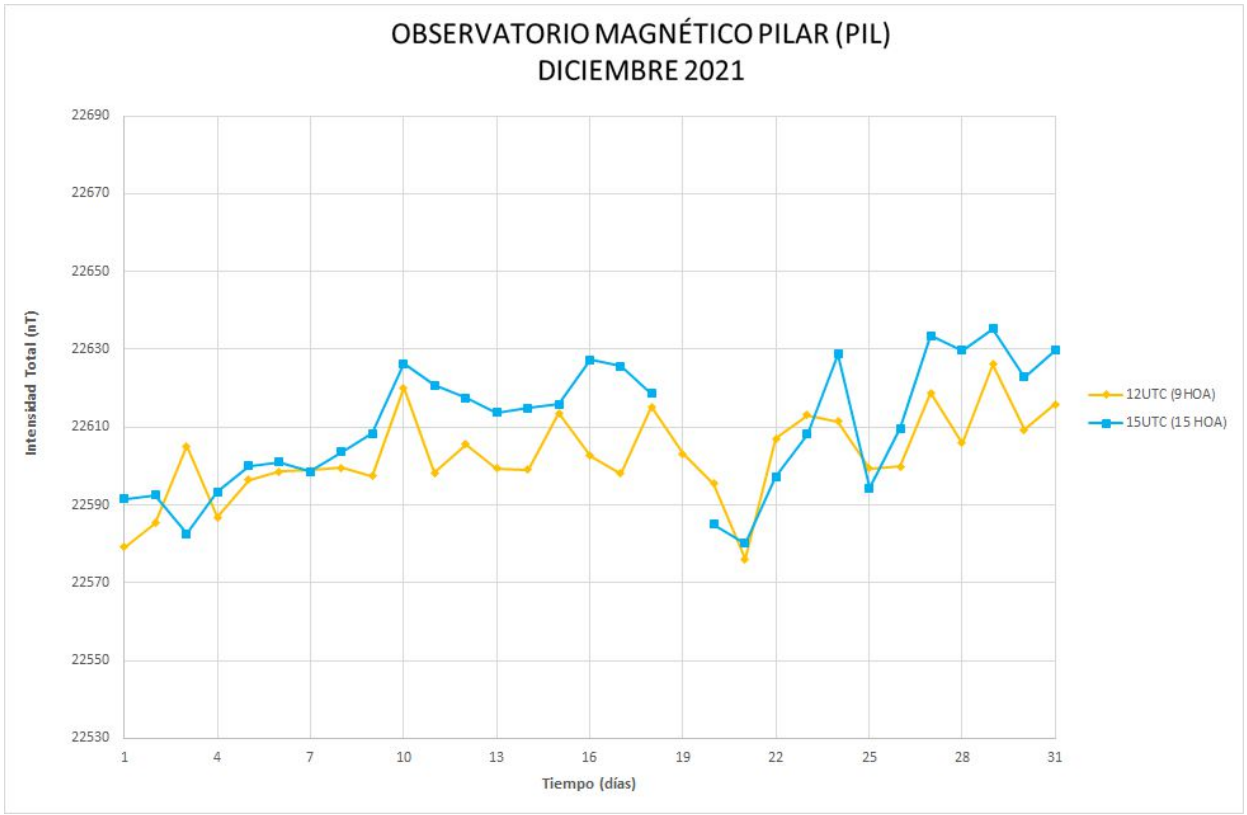
Figura 4c: *Componentes del campo magnético del 21 al 31 de diciembre. En rojo se ve la componente horizontal (H) y en azul la vertical (Z), ambas en nT. En verde se presenta la declinación del campo magnético (D) en minutos y en negro la intensidad del campo magnético en nT.*

OBSERVACIONES ABSOLUTAS

A continuación (Figuras 5, 6 y 7) se presenta la evolución temporal durante todo el mes de diciembre de la declinación, la inclinación y la intensidad total del campo magnético a partir de las observaciones absolutas realizadas a las 12 y 15 UTC.




OBSERVATORIO MAGNÉTICO PILAR (PIL)
DICIEMBRE 2021
Inclinación (grados decimales)
-35,50
-35,40
-35,30
-35,20
-35,10
-35,00
-34,90
-34,80
-34,70
1
4
7
10
13
16
19
22
25
28
31
Tiempo (días)
12UTC (9 HOA)
15UTC (15 HOA)


OBSERVATORIO MAGNÉTICO PILAR (PIL)
DICIEMBRE 2021
Intensidad Total (nT)
22690
22670
22650
22630
22610
22590
22570
22550
22530
1
4
7
10
13
16
19
22
25
28
31
Tiempo (días)
12UTC (9 HOA)
15UTC (15 HOA)

COMENTARIOS FINALES

Las condiciones del viento solar (velocidad, densidad de protones, temperatura) durante el mes de diciembre pueden verse en el siguiente link:

https://www.ngdc.noaa.gov/dscovr/portal/index.html#/vis/summary/1m/1543374000000

Los boletines de meses anteriores pueden visualizarse en:
http://repositorio.smn.gob.ar/

Para mayor información sobre lo abordado, consultar el Anexo de conceptos teóricos que se muestra a continuación, al finalizar el boletín mensual.

ANEXO: CAMPO MAGNETICO TERRESTRE. CONCEPTOS TEORICOS.

El **campo magnético** terrestre se parece al campo de una larga barra magnética o al de una esfera uniformemente magnetizada. El origen de este campo no es bien conocido, pero se cree que es debido a las corrientes conectivas en un núcleo fluido conductivo. En la superficie de la Tierra, el polo de la barra magnética equivalente, más cerca del Polo Norte Geográfico es el Polo Sur Magnético. Esta situación paradójica se da por la convención que define como Norte Magnético al extremo de una aguja imantada que apunta al Norte Geográfico. Entonces por la ley de atracción-repulsión de polos magnéticos, el Norte Geográfico debe necesariamente ser un polo sur magnético. Para evitar confusiones, el polo magnético cercano al Norte Geográfico es y será referido como Polo Norte Magnético, aunque será de intensidad negativa.

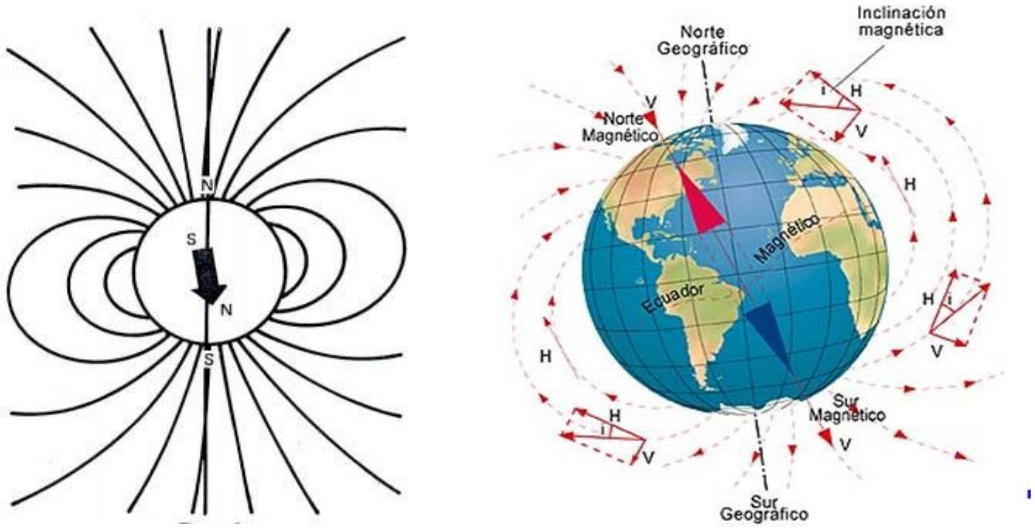


Fig 1

El campo o las líneas de flujo, siguen la trayectoria que muestra la Figura 1. Nótese que la dirección del campo es vertical en los polos magnéticos, y horizontal en el ecuador magnético. El entendimiento de esta geometría es importante para la interpretación de las anomalías magnéticas. La intensidad del campo, es una función de la cantidad de líneas por unidad de área. La intensidad en la región polar es aproximadamente el doble que en la ecuatorial, oscilando entre los 60.000 y 30.000 gammas o nanoteslas (nT). El Gauss es la unidad de la Inducción Magnética (B) y el Oersted de la Intensidad de Campo (H) en la nomenclatura física. Sin embargo, por convención en geofísica, el Gauss es la unidad de la intensidad magnética de campo en el sistema C.G.S. Numéricamente vale lo siguiente:

$$\mathbf{1gamma = 10^{-9}\ Tesla = 1\ nanoTesla = 10^{-5}Gauss = 10^{-5}Oersted = 10^{-9}weber/m2}$$

La intensidad del campo total de la Tierra no es perfectamente simétrica alrededor del polo geográfico. Además, el campo de la Tierra no puede ser representado exactamente como el de una simple barra magnética, puesto que en realidad hay numerosos polos de variación local o anomalías, debidas a desconocidas características del mecanismo generador del campo. También, el viento solar o flujo constante de partículas y corrientes eléctricas que llegan desde el sol, distorsionan las líneas de campo.

La anomalía más relevante, es la que se manifiesta en el nucleo de la Tierra y se registra en la superficie (Figura 2), pero también se encuentran anomalías en la corteza terrestre por las variaciones locales producidas fundamentalmente por los minerales magnéticos.

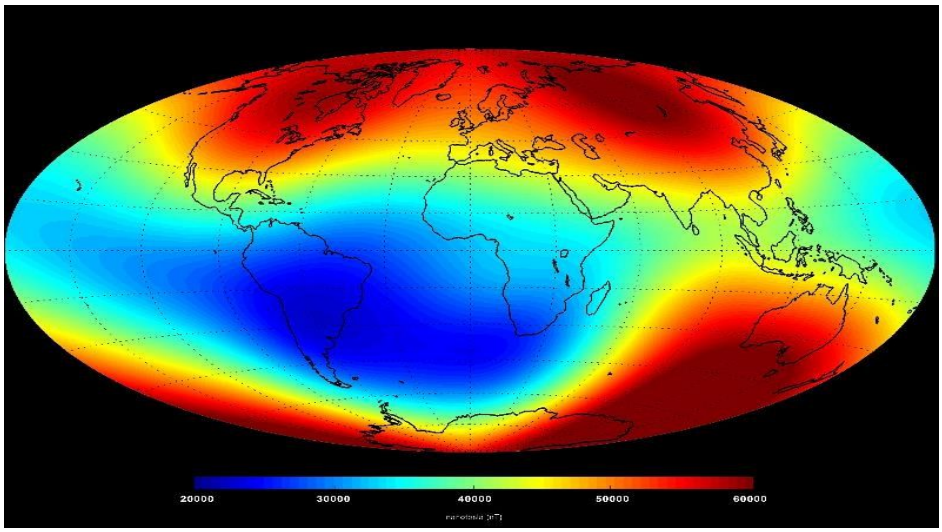


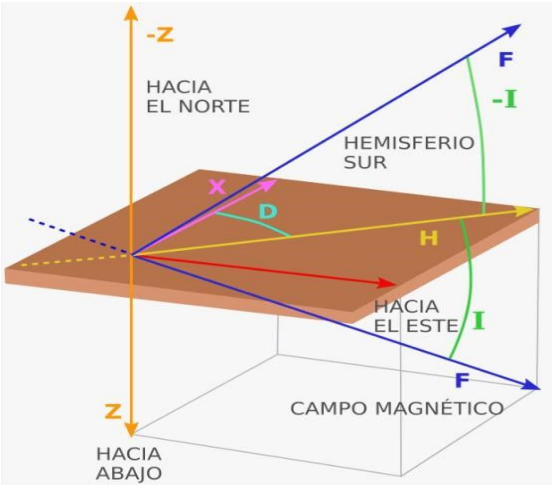
Fig 2

Variaciones en el tiempo

Todas las variaciones descriptas anteriormente se refieren a las *variaciones espaciales* del campo magnético terrestre, pero también existen las variaciones en el tiempo. Las más pequeñas, que van desde períodos de segundos, minutos y hasta horas, son el efecto directo o indirecto del viento solar y que distorsionan la magnetósfera o campo magnético externo de la Tierra. Las *variaciones diarias o diurnas* son notadas principalmente durante las horas de luz del día local. Estas variaciones no son predecibles, pueden significar cambios de hasta 100 gammas, y a menudo se las elimina de las mediciones. Superpuestas a estas variaciones diurnas, hay fenómenos de corto período llamado micropulsaciones que son más casuales en su comportamiento, generalmente más pequeñas en amplitud, y ocurren a cualquier hora, tanto del día como de la noche. Estas micropulsaciones ocurren en un rango de períodos desde los 0.01 segundos hasta varias decenas de minutos, con amplitudes de milésimos a decenas de gamma.

La variación de mayor importancia, fundamentalmente por ser una gran fuente de errores en las mediciones, son las tormentas magnéticas, que ocurren con una frecuencia de varias veces al mes, con un comienzo repentino y simultáneo en todo el mundo. Tales tormentas pueden exhibir variaciones de hasta varios cientos de gammas, y pueden durar desde uno hasta varios días. El campo interno o principal también cambia lentamente con los años, decenas y cientos de años, lo que ha venido a llamarse *variación secular.* La inclinación, intensidad y aún la ubicación de los polos magnéticos varían también pero esto es solo de interés de los Observatorios.

Componentes Magnéticas



D, Declinación Magnética es la diferencia entre el norte geográfico y el norte magnético (el indicado por una brújula). En un punto dado de la Tierra, es el ángulo comprendido entre el norte magnético local y el norte geográfico.

F, es la intensidad magnética y es un vector. Su módulo está compuesto por la suma de las componentes cartesianas (X (N-S), Y (E-W), **Z** (Vertical)). X e Y están en el plano horizontal de N-S y E-O, respectivamente. **Z** en el plano vertical que será negativo hacia el Sur.

H, es la componente horizontal de **F**, en su proyección.

I es la Inclinación Magnética, es el ángulo medido sobre el plano vertical que contiene a **F** y **H**. Siendo negativo hacia el Sur.

Instrumentos

● Magnetómetro Protónico:

El magnetómetro de precesión protónica (ppm) es así llamado porque utiliza la precesión de los spines protónicos, o núcleo del átomo de hidrógeno en el caso de un hidrocarburo o agua, para medir la intensidad total del campo magnético terrestre. Los spines protónicos del agua, kerosén, alcohol, etc., se comportan como pequeños dipolos magnéticos. Estos dipolos son temporalmente alineados y polarizados mediante la aplicación de un campo magnético uniforme generado por una corriente en una bobina. Cuando se corta la corriente, el spin de los protones hace que estos precesen alrededor de la dirección del campo magnético de la Tierra. La precesión protónica genera entonces una pequeña señal en la misma bobina usada para la polarización, señal cuya frecuencia es proporcional a la intensidad del campo total e independiente de la dirección de la bobina. Figura 3 La constante de proporcionalidad es la conocida constante atómica o razón giromagnética del protón. La frecuencia de precesión, típicamente de 2.000 Hz para un campo terrestre de aproximadamente 50.000 gammas (nanoTeslas), se mide con un moderno contador digital, en valor absoluto de la intensidad de campo total y con una precisión de hasta 0,1 gamma (0,1 nT).

Limitaciones del magnetómetro protónico

El magnetómetro protónico no tiene partes móviles, tiene alta resolución en las mediciones y permite visualizar en forma digital las mediciones. Existen varias restricciones operacionales que pueden ser de interés bajo condiciones especiales de campo:

1) La señal de precesión protónica disminuye bruscamente en presencia de un fuerte gradiente de campo magnético (mayor de 600 gammas por metro).

2) La amplitud de la señal del sensor es del orden de los microvoltios y debe ser medida con una precisión de 0,04 Hz. Esta pequeña señal puede resultar difícil de medir en cercanía de corrientes eléctricas alternas. Por estas razones un magnetómetro protónico no puede operar próximo a edificios.

● Magnetòmetro triaxial fluxgate:

Este tipo de magnetómetros permite el registro simultáneo de las tres componentes, declinación (D), las componentes, horizontal (H) y vertical (Z) del campo magnético de la Tierra. Las componentes del campo magnético se muestran cada 5 segundos y cada minuto con una resolución de 0,1 nT.

Un magnetómetro de saturación es un magnetómetro vector, lo que significa que mide no sólo la magnitud sino también la dirección del campo magnético de la Tierra. El dispositivo consta de dos núcleos ferromagnéticos rodeados por dos bobinas de alambre. Cuando el magnetómetro está activo, la corriente alterna pasa a través de una de las bobinas, conocida como la “bobina”, creando

campos magnéticos inducidos de diferentes intensidades. Los cambios en los campos magnéticos generan una corriente eléctrica en la segunda bobina, conocida como la "bobina de detección", que a continuación se puede medir.

La exposición a variaciones en el campo magnético de la Tierra provoca variaciones en los campos magnéticos de los núcleos, lo que conduce a cambios en la corriente en la bobina de detección. Esencialmente, el sensor de un magnetómetro de saturación consiste en un núcleo de un material ferromagnético de alta permeabilidad magnética, rodeado por un arrollamiento receptor. El campo magnético terrestre a lo largo del eje del núcleo produce en éste un flujo magnético.

Si se hace variar la permeabilidad del núcleo, variará su flujo, como consecuencia se inducirá un voltaje en el arrollamiento receptor que proporciona unas medidas del campo externo. El funcionamiento del magnetómetro está, por tanto, basado en la variación con el tiempo de la permeabilidad del núcleo. (Figura 4)

- Teodolito

Fig. 5

El teodolito convencional es el instrumento utilizado para determinar posiciones midiendo dos ángulos, uno horizontal (azimut) y otro vertical (altura). Éste está construido en material antimagnético y por tanto se podría utilizar para medir la declinación, acoplándole una aguja magnética. De esta manera se obtendría valores absolutos de la Declinación e Inclinación magnética en un determinado espacio y tiempo. (Figura 5)

DESCRIPCIÓN SISTEMA INDIGO

Este sistema proporciona el hardware y el software para operar un Observatorio Magnético Digital básico. El hardware consiste en un magnetómetro triaxial fluxgate (Fig 4), un magnetómetro protónico, un Digitizador (Fig 6), un receptor GPS para proporcionar un tiempo exacto, un registrador de memoria USB y una fuente de alimentación DC alimentada por batería.

El software INDIGO WATCH (Fig 7) captura los datos del magnetómetro digitalizado, registra en el disco y realiza el análisis de datos básicos. Los datos se registran cada 5 segundos del fluxgate y ppm, los mismos pueden ser monitoreados y almacenados en archivos diarios individuales usando el software INDIGO WATCH montado en cualquier PC. Se generan valores medios de las componentes medidas cada 1 minuto los cuales se registran en el USB Logger (Fig. 6).

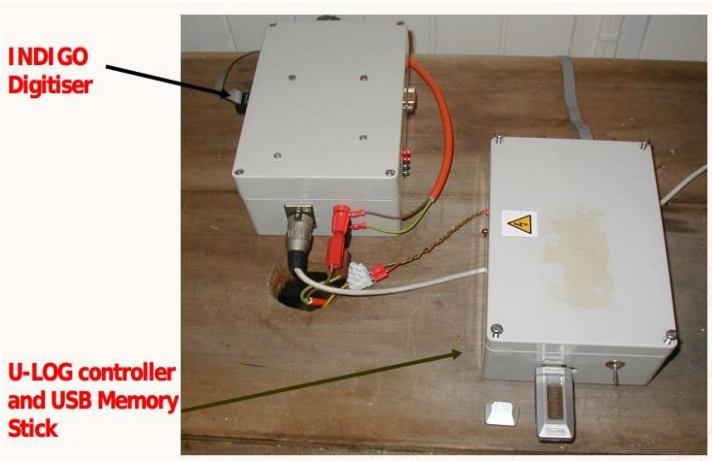


Fig 6

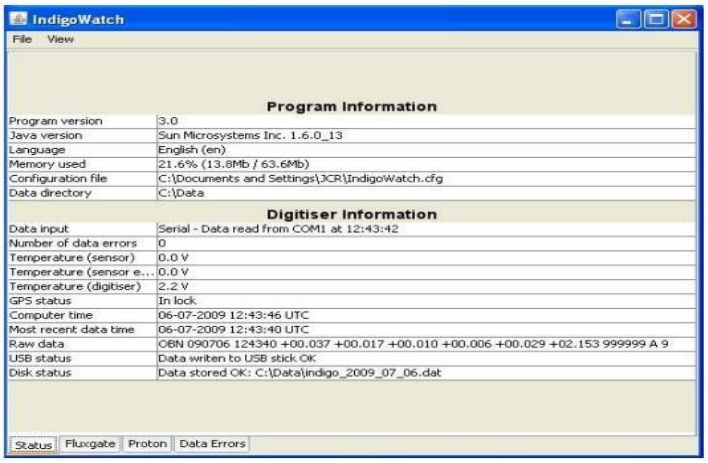


Fig 7

OBSERVATORIO MAGNÉTICO OPERATIVO

El Observatorio opera con Geomagnetic Data Acquisition System (GDAS) (Fig 8), el mismo fue desarrollado por la British Geological Survey (BGS). El INDIGO Watch registra las variaciones de las componentes del campo magnético, pero no los valores absolutos. El operador supervisa estas variaciones. Diariamente se realiza más de una observación absolutas por Operador. Éstas son mediciones con el Teodolito Magnético que porta un sensor Fluxgate en la parte superior del mismo. Con él se obtienen datos de Declinación e Inclinación. Las observaciones absolutas conjuntamente con los datos obtenidos por el Sistema Indigo, se procesan en el software (GDAS), y producen un registro continuo de los **valores absolutos del campo magnético** (Fig. 8)**.**

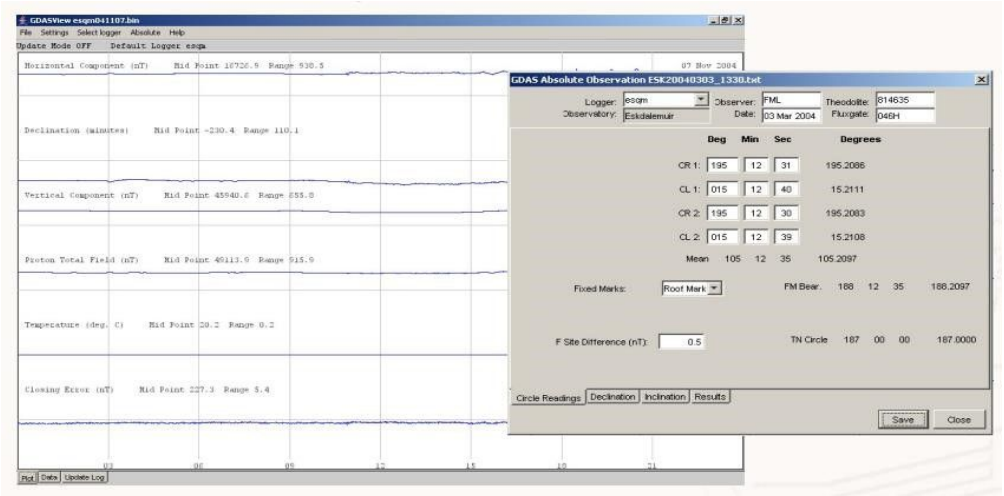


Fig 8

INTERMAGNET

INTERMAGNET es una red mundial de Observatorios Magnéticos que operan casi en tiempo real. El objetivo de INTERMAGNET es establecer una red global de Observatorios Magnéticos digitales que cooperen, adoptando modernas especificaciones estándar para equipos de medición y registro, con el fin de facilitar el intercambio de datos y la elaboración de productos geomagnéticos en tiempo real.

Existen varios nodos de información geomagnética (GINs) que son utilizados por todos los observatorios del mundo de la red INTERMAGNET para compartir los datos generados por cada uno de ellos. Cada observatorio, como los del SMN, adopta ciertos estándares para las mediciones geomagnéticas y para el monitoreo del equipamiento y transfiere información rápidamente al GINs (Geomagnetic Information Nodes). Esto es posible gracias a los satélites y a las comunicaciones en red. Estos nodos de información geomagnética recogen datos desde su posición en el globo para su difusión a la comunidad en forma oportuna. GINs puede, cuando sea necesario, intercambiar información y también puede difundir productos tal como índices geomagnéticos y modelos de actividad.

En septiembre de 2012, el Observatorio Magnético Pilar fue aceptado como miembro de INTERMAGNET y las mediciones magnéticas generadas con el Sistema INDIGO en el Observatorio de Pilar, son reportadas diariamente a Edinburgo GIN.

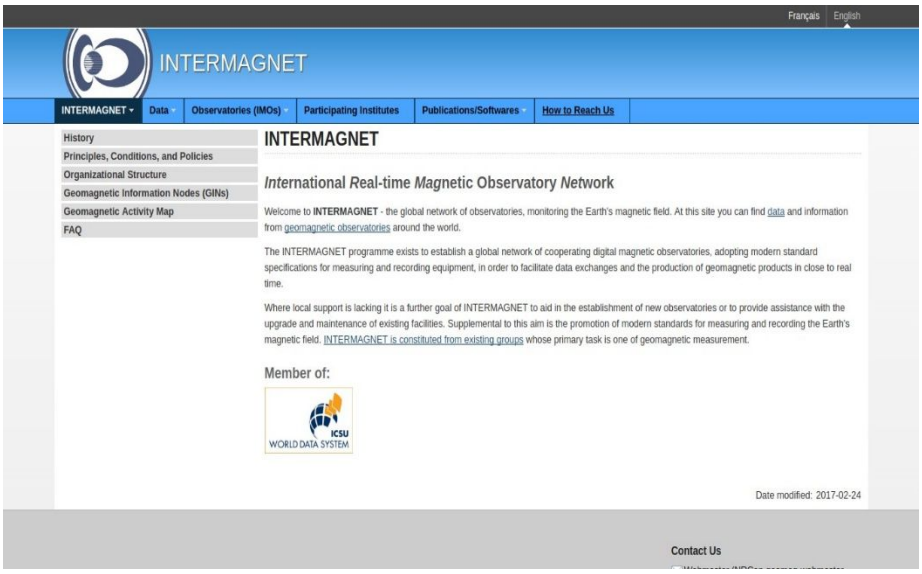


Fig 9

La información se puede visualizar en http://www.intermagnet.org/data-donnee/dataplot-eng.php