

## ESTADO ACTUAL DE LOS OBSERVATORIOS MAGNÉTICOS PERMANENTES DEL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL, ARGENTINA

Heredia Soledad<sup>1</sup>, Farias Camila<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup> Servicio Meteorológico Nacional, Argentina.

Palabras claves: Observatorios magnéticos, SMN, Intermagnet, AMAS.

### RESUMEN

Una de las funciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) es el estudio y medición del campo magnético terrestre además de monitorear el comportamiento de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS). Para ello, el SMN cuenta con Observatorios magnéticos permanentes (OMP) que registran continuamente las variaciones del campo magnético (Fig 1.). Con los datos obtenidos, se elaboran Boletines Mensuales, y se ejecutan trabajos de investigación y colaboraciones con organismos internacionales.

Sus OMP se fundaron a partir de 1904, el Observatorio magnético de Orcadas, Antártida (ORC) y el Observatorio de Pilar, Córdoba (PIL), y por último en 1917 el de la Quiaca (LQA). Este último se encuentra en reparación actualmente. Se cuenta con más de 100 años de registro, que en un principio, eran analógicos hasta el 2010 y 2012 donde, primero PIL y luego ORC, fueron actualizados a sistemas digitales.

Los Observatorios del SMN cuentan hoy con instrumental para medir la intensidad total (F) del Campo Magnético Terrestre (CMT), y las variaciones de las componentes; horizontal (H), vertical (Z) y declinación (D) del CMT.

También poseen un Teodolito Magnético con el cual un observador determina en forma absoluta la Declinación e Inclinación, que junto con F permite calcular las líneas de base de los valores medidos por los variómetros.

A fines del 2015 el SMN sumo una nueva Estación Magnética Permanente, Estación Cipolletti (CPL), logrando así medir en otro punto de nuestro vasto territorio la Intensidad F.

Tanto PIL como ORC desde el año 2012 y 2013 respectivamente, integran la Red Mundial de Observatorios magnéticos (INTERMAGNET) gracias al Proyecto INDIGO, British Geological Survey, que permitió la implementación de un sistema digital de medición.

Además, la Universidad Nacional de La Plata cuenta con dos observatorios, el de Trelew (TRW), miembro de INTERMAGNET, y Las Acacias (LAS) de registro de F. Ellos intercambian información con el SMN y trabajan conjuntamente.

En este trabajo se presentan los datos históricos de las componentes del CMT, que muestran el comportamiento de la AMAS, y cómo los registros diarios de los Observatorios permiten analizar la actividad geomagnética y reconocer los eventos solares que la causan.

## INTRODUCCIÓN



Fig 1. Localización de Observatorios

El Observatorio Magnético Pilar se localiza en la ciudad de Pilar, en la Provincia de Córdoba, zona centro de la Argentina. Sus coordenadas Geográficas y Magnéticas son  $31^{\circ}40'00''$  S  $63^{\circ}53'00''$  W y  $20^{\circ}02'00''$  S  $04^{\circ}00'00''$  W respectivamente y su altura sobre el nivel del mar es de 338 msnm.

En el Observatorio Geofísico y Meteorológico de Pilar confluyen diferentes disciplinas, Meteorología, Radiación, Ozono, Sismología y Geomagnetismo. Esta última dentro del Observatorio Magnético.

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).

El observatorio de la Base Orcadas es el más antiguo que ha estado operando en la Antártida desde su creación en 1903. El mismo, se localiza en la Isla Laurie, de las Islas Orcadas de Sur en la Antártida Argentina. Sus coordenadas Geográficas son  $60^{\circ}44'16''$  S  $44^{\circ}44'24''$  W y su altura es de 3 msnm.

En este Observatorio se miden ininterrumpidamente parámetros geomagnéticos que muestran la evolución y el comportamiento de una región situada cerca del polo magnético y lejos de las perturbaciones antropogénicas.

Al principio, la instrumentación utilizada en el Observatorio Orcadas era analógica. Desde 2012, se ha instalado el sistema INDIGO (Observatorio Geomagnético Digital de Intermagnet) para actualizar y digitalizar las mediciones. En el 2013, el Observatorio fue aceptado como miembro de INTERMAGNET (Red Magnética Internacional en Tiempo Real).

La estación Magnética Cipoletti se ubica en la ciudad de Cipoletti provincia de Río Negro, comenzó a operar en el año 2015. Dicha ciudad se localiza en un sitio de interés geomagnético y geológico, en una zona precordillerana donde la explotación de recursos naturales (gas, petróleo y minerales), es la actividad económica principal de la región. Por lo tanto, el registro obtenido es de fundamental importancia en los estudios de prospección de las industrias de petroleras y/o mineras.

El instrumental se localizó en un lugar en donde se encuentra protegido del viento y del sol, cuyas coordenadas son  $38^{\circ}56,45'S$ ,  $67^{\circ}58,7'W$ . Desde el momento en que se instaló, se comenzaron a registrar valores de referencia del Campo Magnético Terrestre. Por el transcurso de casi un año, en conjunto con el área de Geomagnetismo de la UNLP, los datos obtenidos fueron validados con registros del Observatorio Geomagnético de Trelew, por ser el más cercano a la estación.

Los resultados arrojaron que el lugar era el adecuado para el registro de Intensidad del CMT (F).

**INSTRUMENTAL**

Los distintos observatorios cuentan con instrumental apropiado para el funcionamiento operativo de los mismos.

**Magnetómetro Protónico**

El magnetómetro de precesión protónica (ppm) (Fig.2) 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, 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.



Fig. 2 Magnetómetro de precesión protónico

**Magnetómetro triaxial fluxgate**

Este magnetómetro permite el registro simultáneo de las tres componentes, declinación (D) y las componentes, horizontal (H) y vertical (Z) del campo magnético de la Tierra. Las mismas, se registran cada 5 segundos y un minuto con una resolución de 0,1 nT. (Fig. 3) Mide la magnitud y 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 (la bobina), creando campos magnéticos inducidos de diferentes intensidades. Estos, generan una corriente eléctrica en la segunda bobina (bobina de detección), que luego se puede medir. La

exposición a variaciones en el campo magnético de la Tierra provoca variaciones en los campos magnéticos de los núcleos ferromagnéticos y de alta permeabilidad magnética. Produciendo en estos, 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.

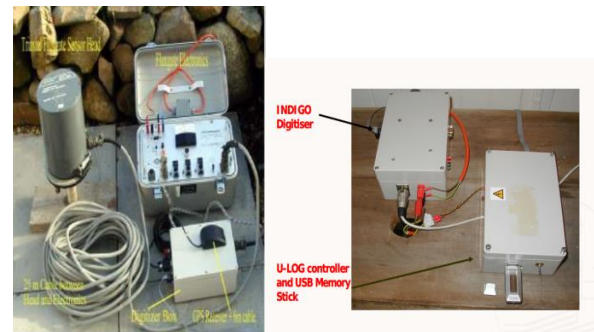


Fig. 3 Variometro y sus componentes

**Teodolito**

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 (Fig. 4).

De esta manera se obtendría valores absolutos de la Declinación e Inclinación magnética en un determinado espacio y tiempo.



Fig 4. Teodolito



**SISTEMA INDIGO Y OBSERVATORIOS MAGNÉTICO OPERATIVOS**

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 el 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. Los datos se registran cada 5 segundos del fluxgate y ppm, los mismos se almacenan en archivos diarios individuales usando el software INDIGO WATCH montado una PC (Fig 5.). Se generan valores medios de las componentes medidas cada 1 minuto los cuales se registran en el USB Logger.

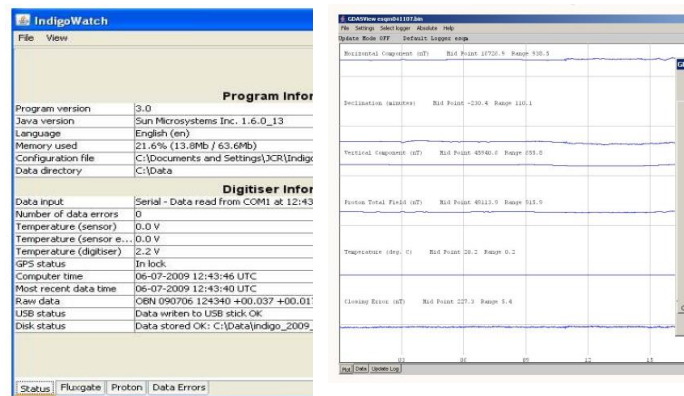


Fig. 5 Software utilizado

Los Observatorios de Pilar y Base Orcadas operan con Geomagnetic Data Acquisition System (GDAS) (Fig 5), 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. Diariamente un Operador realiza más de una observación absoluta. 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**.

Por su parte, la Estación Magnética Cipolletti (Fig.6), cuenta solo con un Magnetómetro Geometrics G856, con administración de energía externa. Las baterías utilizadas no afectan el registro magnético, las mismas son de gel, de 12v/7A o 12v/12A, y poseen una autonomía de 2 a 3 semanas aproximadamente.

El registro óptimo del sistema es cada 5 minutos a diferencia del sistema INDIGO de los Observatorios de Pilar y Orcadas que manejan intervalos de medición de 1 minuto. Los datos son almacenados en la memoria del equipo. Por lo que, cada 10-14 días aproximadamente, la serie de datos es descargada a una computadora y la batería intercambiada.

En gabinete los datos son procesados en una planilla Excel y validados constantemente con los registros de F de la red de Observatorios del país. Se obtienen promedios horarios, mensuales, y anuales. Luego se calculan, utilizando los días calmos establecidos por la IAGA, las curvas de variación diurna para cada mes de registro, y se comparan estos resultados con un índice de actividad geomagnética local, en formatos horarios, trihorarios o diarios.



Fig. 6. Estación Cipolletti

**INTERMAGNET**

INTERMAGNET es una red mundial de Observatorios Magnéticos que operan casi 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.

<http://www.intermagnet.org/>

**MAS DE 100 AÑOS DE REGISTRO**

Los registros diarios de más de 100 años de los Observatorios argentinos han permitido visualizar el descenso en la Intensidad del CMT lo cual se correlaciona con la intensificación de la Anomalía del Atlántico Sur, como puede observarse en los mapas del modelo IGRF.

En todas las componentes, el CMT se comporta de manera similar para los observatorios de Pilar y La Quiaca, presentando variaciones anuales semejantes pero con diferencia en su escala de valores. En cambio, los registros en Orcadas del Sur a través de los años, muestran diferencias con respecto a los otros Observatorios.

*En Orcadas la Intensidad F disminuye linealmente con una pendiente mayor que en los demás puntos de medición, lo que se puede vincular al correspondiente avance de la AMAS en esa región (Fig. 7).*



Fig. 7. Intensidad Total F

Se destaca también el pronunciado aumento de su componente Z con respecto a Pilar y La Quiaca.(Fig.8)

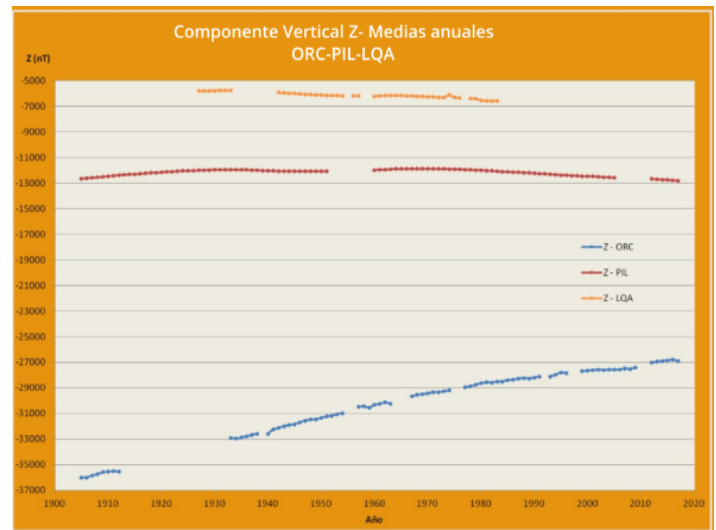


Fig 8. Componente vertical Z

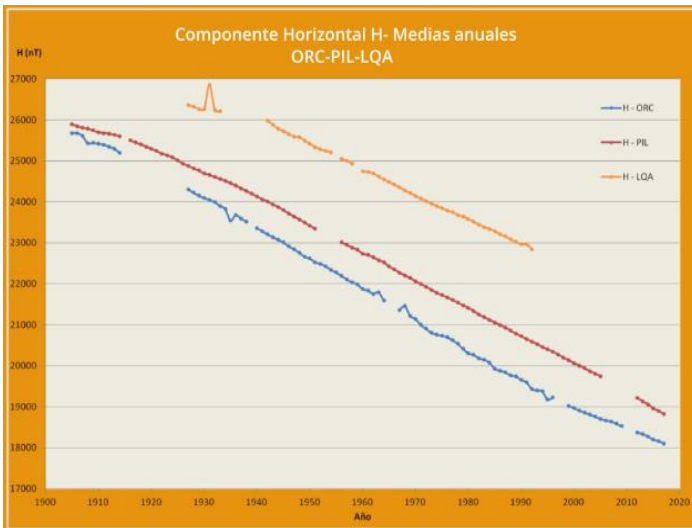


Fig 9. Componente Horizontal

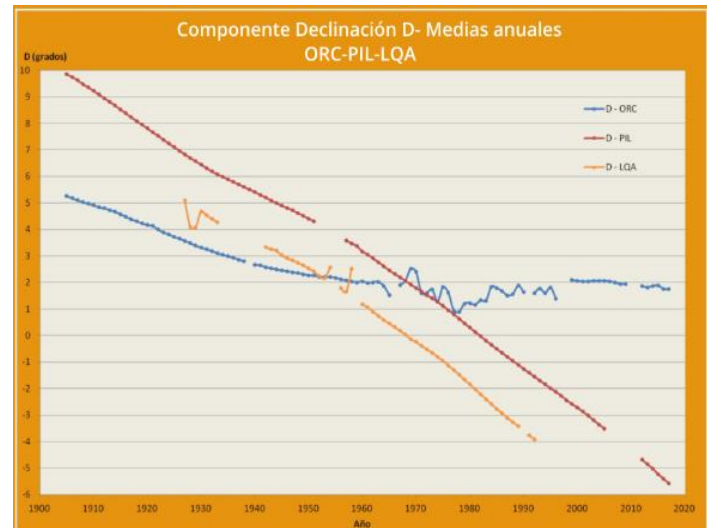


Fig. 11 Declinación magnética D

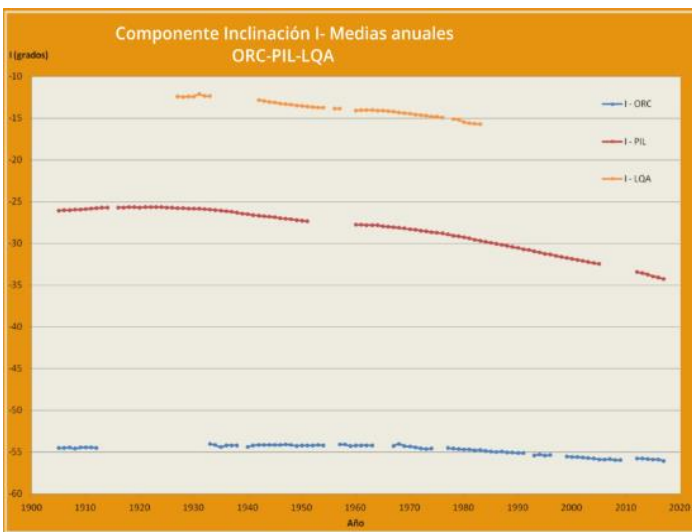


Fig 10. Inclinación magnetical

Pero lo más notable es cómo allí la Declinación se mantiene positiva casi constante durante aproximadamente los últimos 50 años, (Fig. 11) a diferencia de los Observatorios que se encuentran en el centro y norte del país, que con los años toman valores negativos (en 1968 La Quiaca y 1982 Pilar).

La diferencia en los sentidos de la componente D se evidencian en el modelo IGRF 2015 donde se ve que la curva isógona 0 pasa por encima de la ubicación del Observatorio Orcadas, manteniendo las mediciones de D positivas, a diferencia de Pilar y La Quiaca que se encuentran entre isógonas de valores negativos

### TORMENTA MAGNÉTICA SEPTIEMBRE 2017

Durante el mes de Septiembre el Sol tuvo una actividad significativa sobre el CMT, emitiendo Fulguraciones Solares (flares) y Eyecciones de Masa Coronal (CME) clasificadas como las más grandes de este ciclo solar 24 que comenzó en enero de 2008. Estos eventos pueden relacionarse con las formas de la curva presentes en los magnetogramas de los distintos observatorios geomagnéticos instalados en todo el planeta. Nosotros haremos hincapié en los Observatorios del Servicio Meteorológico Nacional. El día 4 de Septiembre a las 20:33 UTC se produjo una fulguración de categoría M5.5

(R2- Moderado) en la región activa 2673. Dicha fulguración finalmente formó una eyección de masa coronal completamente geoeffectiva, observada por primera vez en imágenes SOHO / LASCO C2 a las 20:48 UTC. El 6 de septiembre se observó la primera de dos CME que se presentan en estos días. La primera CME, asociada con la llamarada M5 del 04 de septiembre, se observó por primera vez al atravesar el satélite DSCOVR a las 06/2308 UTC. El campo total aumentó a 16 nT a las 23:24 UTC y el viento solar aumentó a un máximo de 610 km /s a las

23:09 UTC. La componente Bz se mantuvo mayormente al norte para este evento con menores fluctuaciones de hasta -10 nT. El día 6 la misma región efectiva, continúa su alta actividad, generando una nueva fulguración severa X 2.2 y otra más tarde de X9.3 (R3-Extrema) que ocurrió a las 12:02 UTC. Esta también, trajo asociada una CME, observada por primera vez en las imágenes SOHO / LASCO C2 a las 12:24 UTC.

Luego, el 07 de septiembre, la segunda CME llegó al satélite DSCOVR aumentando aún más el campo total, hasta un máximo de 34 nT a las 22:54 UTC, mientras que durante casi 5 horas la componente Bz apuntaba hacia el sur, alcanzando un máximo de -32 nT. El viento solar aumentó hasta un máximo de 842 km/s el día 08 de septiembre a las 08:48 UTC, antes de disminuir lentamente a cerca de 530 km/s hacia el 10 de septiembre.

Durante los últimos minutos del 7 de Setiembre, llegaba el roce directo de la eyección de masa coronal producida por la fulguración de categoría X9.3 producida el día 06 y en pocos minutos el campo magnético terrestre se alteró de tal manera que generó una tormenta geomagnética de nivel KP8 (G4) cual se mantuvo durante todo ese día.

## NUESTROS REGISTROS

En los distintos observatorios se pudieron registrar estos importantes eventos (Fig. 12). La llegada de la fulguración el día 6, fue registrada casi instantáneamente (12:00 UTC). Por otro lado, el día 7 se constató la llegada de la CME perturbando las diferentes componentes fluctuando sus valores entre máximos y mínimos que difieren en 100nT aproximadamente. Dicha perturbación se extendió hasta el día 8 (Fig. 13).

Todos estos registros a su vez, fueron correlacionados con gráficos de Índices Kp, flares y viento solar obtenidas de la NOAA [www.swpc.noaa.gov](http://www.swpc.noaa.gov) y de <https://www.spaceweatherlive.com>

Agradecimientos: La autoras expresan sus agradecimientos a Gil Ma. Inés y Ricci Silvana, del Área Geofísica del Servicio Meteorológico Nacional, por las contribuciones aportadas en la realización de éste reporte final.



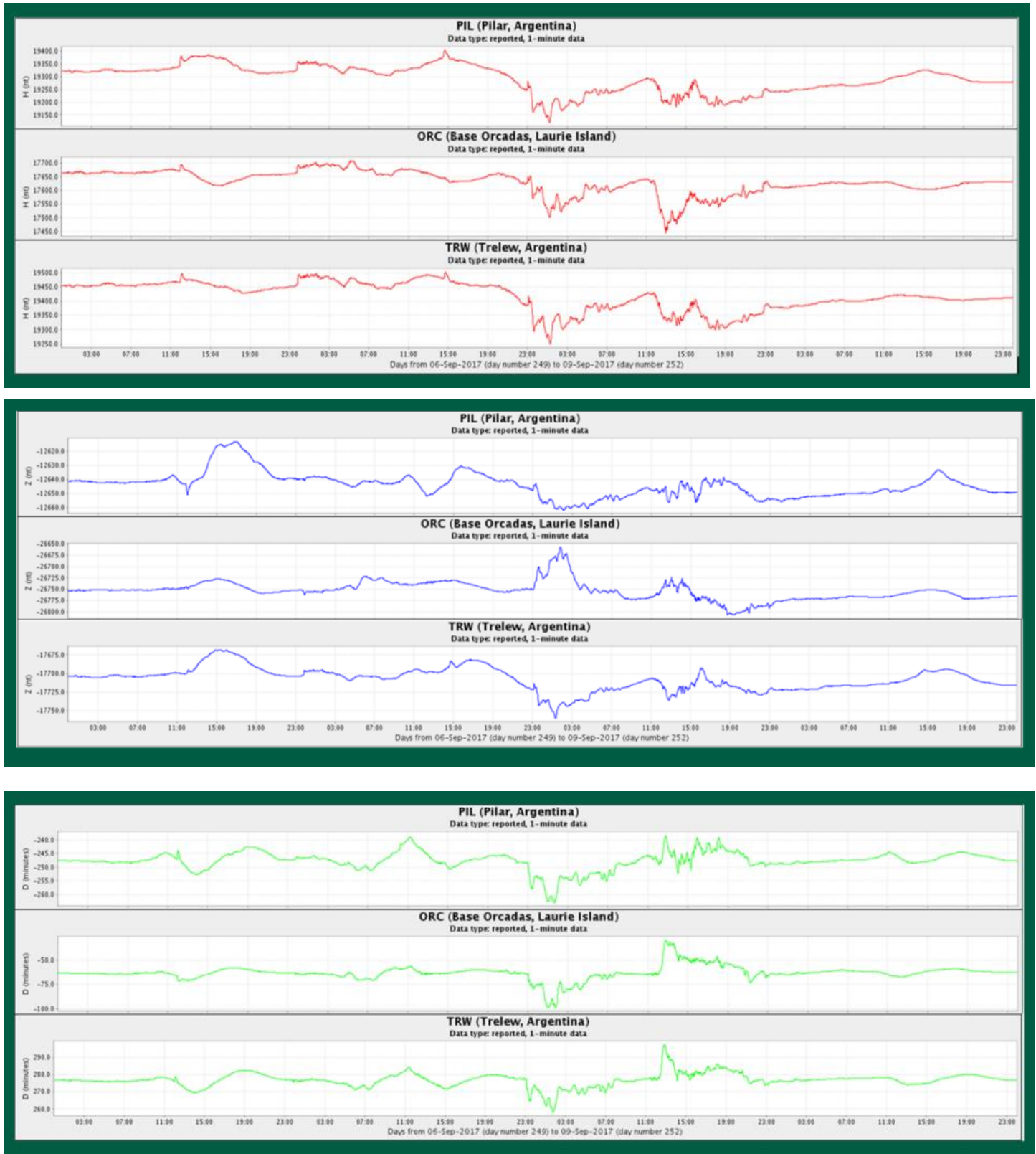


Fig. 12 Componente horizontal H, Componente vertical Z y la Declinación que muestran la perturbación debido a la Tormenta Magnética en Septiembre 2017.



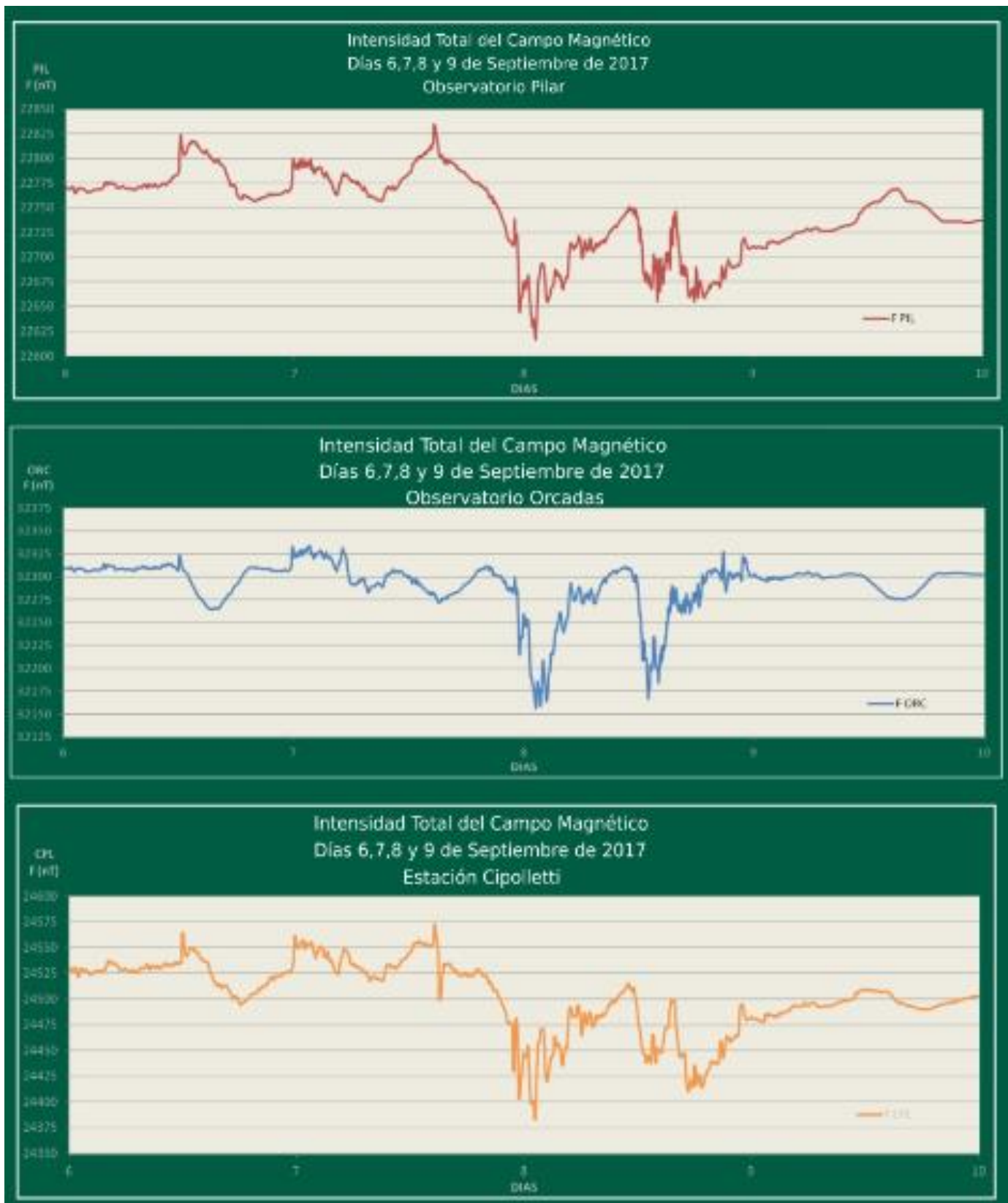


Fig 13. Registros de la Intensidad Total de Campo Magnético de los Observatorios de Pilar, Orcadas y Estación Cipolletti.