



# Protocolo de control de las condiciones magnéticas de un Observatorio Magnético Permanente mediante el cálculo del valor de Diferencia de Sitio

Nota Técnica SMN 2023-137

**Sabrina Juárez<sup>1</sup>, María Inés Gil<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Área Geofísica, Dirección Central de Monitoreo del Clima (DCMC), Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios (DNCIPS)*

Abril 2023

### *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.*

## Resumen

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN), a través de los Observatorios Magnéticos Permanentes (OMP), Orcadas del Sur (ORC) en la Antártida y Pilar (PIL) en Córdoba, registran de manera digital y continua la intensidad total (F) del Campo Magnético Terrestre (CMT) y las variaciones de cada una de sus componentes, Horizontal (H), vertical (Z) y Declinación (D). Asimismo, se realizan de manera manual las observaciones absolutas para determinar la Inclinação (I) y D. Los datos de estos observatorios son compartidos internacionalmente y utilizados como base de consulta en investigaciones del ámbito público y privado, por lo que se requiere que sean consistentes y de calidad cumpliendo con distintos parámetros y requisitos exigidos por parte de la Red Global de Observatorios Geomagnéticos permanentes en tiempo real (INTERMAGNET). Uno de los procedimientos fundamentales al momento de lograr la buena calidad del dato, es el control de Diferencia de Sitio (DS), el cual tiene como objetivo determinar el valor de F que permite referenciar los datos de F, H, D y Z al sitio de las observaciones absolutas. La medición se realiza entre los dos sitios clave de un Observatorio, el pilar donde se ubica el teodolito con el que se realizan las observaciones absolutas y la ubicación del cabezal del magnetómetro de Precesión Protónica (PPM) que registra F en prácticamente el mismo sitio donde el variómetro triaxial registra las variaciones de las demás componentes del CMT. Este procedimiento es importante debido a que las condiciones magnéticas de un OMP pueden variar en el tiempo por diferentes motivos, provocando un aumento o disminución en la intensidad total del CMT en ciertas zonas del observatorio y, por lo tanto, una variación en la DS definida previamente para dicho OMP. Entonces, es necesario conocer cuantitativamente y registrar, con cierta frecuencia, dichas variaciones.

El objetivo de este trabajo es dar a conocer el procedimiento técnico que se realiza en los OMP del SMN por parte del personal capacitado a tal fin y exponer la importancia de dicho procedimiento y de su realización periódica.

## Abstract

The National Meteorological Service, through its Permanent Magnetic Observatories, Orcadas del Sur (ORC) in Antarctica and Pilar (PIL) in Córdoba, records digital and continuously the total intensity (F) of the Earth Magnetic Field (CMT) and the variations of each of its components: horizontal (H), vertical (Z) and declination (D). And, manually absolute observations of the inclination (I) and D are made.

Data produced in these observatories are shared with other countries and used as a data base for public and private investigations. Therefore, it is required that they be consistent and of quality, complying with different parameters and requirements demanded by the International Real-time Magnetic Network (INTERMAGNET). One of the fundamental procedures made in order to achieve good quality data is the Site Difference (DS) control, which aims to determine the value of F that allows referencing F, H, D and Z data to the site of absolute observations. This measurement is made between the two main sites of an observatory, the theodolite pillar where absolute observations are made and the site of the head of the proton precession magnetometer (PPM) that records F in almost the same place where a triaxial fluxgate magnetometer records H, D and Z variations. This procedure is very important as magnetic conditions at an observatory can vary for different reasons, increasing or diminishing total intensity at some places of the observatory, and so, modifying the previously defined DS. That is why it is necessary to know quantitatively and keep record of these variations.

This work aims to show the technical procedure that is carried out at the SMN observatories by trained personnel and expose the importance of it and its periodic performance.

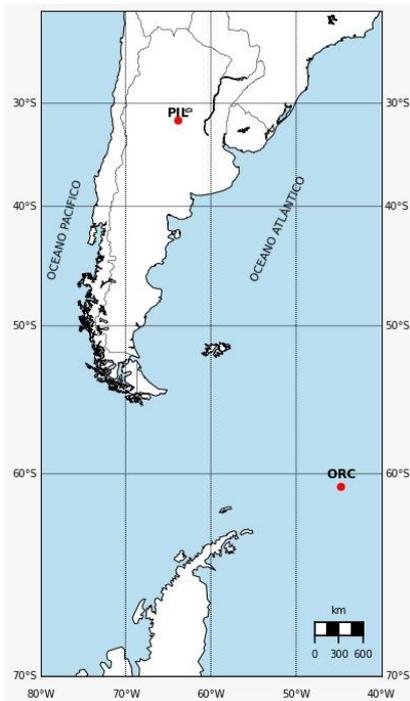
**Palabras clave:** Observatorio Magnético Permanente, Condiciones Magnéticas, Calidad del dato, Diferencia de Sitio

### Citar como:

Juárez, S. y M.I. Gil, 2023: Protocolo de Control de las Condiciones Magnéticas de un Observatorio Magnético Permanente mediante el cálculo del valor de Diferencia de Sitio. Nota Técnica SMN 2023-137.

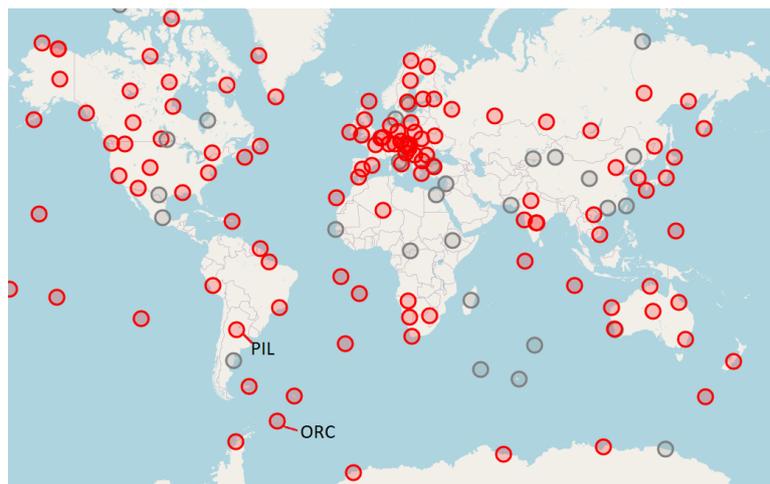
## INTRODUCCION

El SMN a través de los OMP de PIL y ORC (Fig. 1) es miembro desde el año 2012 de INTERMAGNET (IM) (Fig.2). Esta membresía fue lograda y es mantenida gracias a que los datos obtenidos cumplen con los requisitos exigidos por la red (Gil y Juárez, 2021) en cuanto a calidad y regularidad.



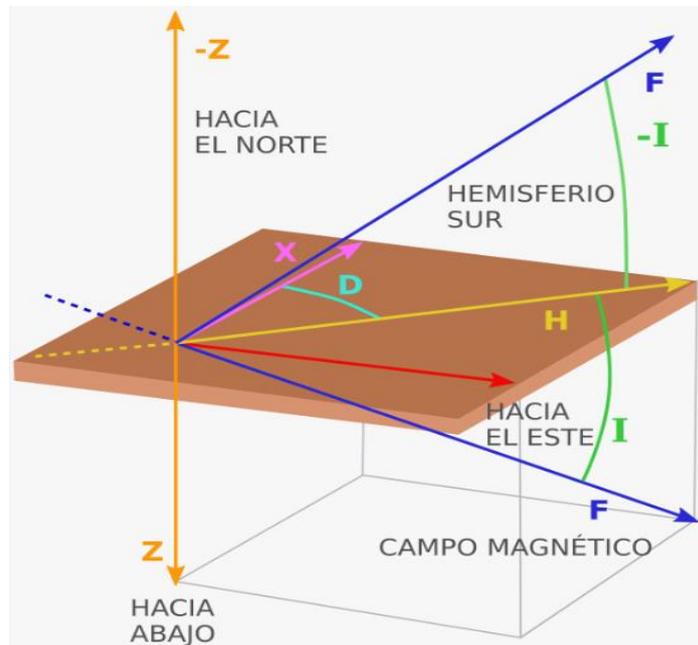
OBSERVATORIO GEOMAGNETICO	LAT	LON
PILAR (PIL)	31° 40' 00" S	63° 53' 00" O
ORCADAS (ORC)	60° 44' 15" S	44° 44' 14" O

**Fig. 1** Observatorios permanentes ORC y PIL



**Fig. 2:** Observatorios Magnéticos del Mundo pertenecientes a la RED INTERMAGNET. En color rojo los observatorios activos y en color gris los observatorios actualmente cerrados.

Un OMP es una instalación donde se registran las variaciones temporales de las distintas componentes del CMT en un punto fijo de la superficie terrestre. Los OMP cuentan, como mínimo, con dos casillas de registro que alojan los distintos instrumentos de medición necesarios para obtener valores absolutos del CMT. La casilla Indigo <sup>(1)</sup> contiene un magnetómetro de Precesión Protónica (PPM) que registra continuamente la intensidad  $F$  a una frecuencia de 1 minuto y un magnetómetro triaxial fluxgate (variómetro) para registrar las variaciones, cada cinco segundos, de las componentes  $H$ ,  $Z$  y  $D$  (Fig.3) de dicho campo. En tanto, en la casilla de absolutas, <sup>(2)</sup> con un teodolito magnetométrico se realizan, manualmente y de forma regular, mediciones conocidas como observaciones absolutas de  $D$  e Inclinación ( $I$ ). Estas observaciones absolutas permiten calcular las líneas de base a las que se referenciarán las variaciones de las componentes del CMT registradas en la casilla Indigo (Fig. 4).



**Fig. 3:** Componentes del Campo Magnético

- (1) Se denomina así a la casilla donde se alojan los instrumentos enmarcados en el proyecto INDIGO (Observatorio Geomagnético Digital de Intermagnet, por sus siglas en inglés). Más información sobre esto se encuentra en el Anexo "Campo magnético terrestre. Conceptos teóricos" de los boletines mensuales del área (<https://www.smn.gov.ar/informes-climaticos>).
- (2) Se denomina así en referencia al tipo de valores obtenidos (absolutos) por medio de las observaciones manuales.

#### Observatorio Magnético Orcadas del Sur



Casillas Absoluta (izquierda) y Casilla Indigo (derecha)  
Foto: Silvina Rigueti (2018)

#### Observatorio Geofísico y Meteorológico Pilar



Casillas Absoluta (izquierda) y Casilla Indigo (derecha)  
Foto: Milton Soria (2023)

**Fig. 4.** Casillas que conforman los observatorios que contienen y resguardan los instrumentos

Para obtener datos de calidad es preciso, entre varios requerimientos, cumplir con un procedimiento fundamental, el de control de Diferencia de Sitio (DS). Es un procedimiento que debe realizarse en los OMP con regularidad, como mínimo una vez al año (Jankowski y Suckdorff, 1996).

Este control tiene como finalidad determinar la diferencia en el valor de intensidad total  $F$  entre el pilar donde se ubica el teodolito, en la casilla de absolutas, y la ubicación del cabezal del PPM, en la casilla Índigo, de esta manera se logran referenciar los datos de  $F$ ,  $H$ ,  $D$  y  $Z$  al sitio de las observaciones absolutas (Turbitt, 2004).

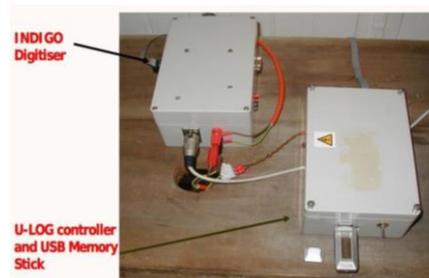
## 1. METODOLOGÍA

Los observatorios del SMN operan con el sistema Indigo (Fig. 5). 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 digitalizador y un registrador de memoria USB, un receptor GPS para proporcionar un tiempo exacto, y una fuente de alimentación DC alimentada por batería. Además, cuenta con un teodolito magnetométrico utilizado para hacer observaciones absolutas (Fig. 6). El software INDIGO WATCH captura los datos del magnetómetro digitalizado, registra en el disco y realiza el análisis de datos básicos. A su vez, las observaciones absolutas conjuntamente con los datos obtenidos por el Sistema INDIGO, se procesan en un software (GDAS View), y producen un registro continuo de los valores absolutos del campo magnético. El GDAS View es el data logger estándar para un observatorio del British Geological Survey (BGS)



Magnetómetro de Precesión Protónica y su electrónica



Digitalizador y un registrador de memoria USB

**Fig.5** sistema Indigo



**Fig.6** Teodolito

El procedimiento de DS que, se realiza en dos etapas con el objetivo de minimizar errores en la comparación de datos de la componente F, exige y demanda cuidado, prolijidad y atención en la manipulación de los instrumentos, por tal motivo se requiere la participación de dos o tres personas para la división y asignación de ocupaciones a lo largo de las dos etapas. Es recomendable que una persona se encargue de anotar los horarios (hora y minuto UTC) de apagado, encendido y todo aquello que se vaya realizando durante el procedimiento, otra persona dedicada a la desconexión y conexión de los equipos y otra persona encargada del traslado de instrumental.

A su vez, se debe coordinar de manera tal que las franjas horarias de medición contengan preferentemente horarios nocturnos. Estos son los momentos más calmos de actividad solar donde la variación diurna es menor y la dispersión de los registros se minimiza, pudiendo realizar el control de DS solo por unas pocas horas. En el caso de Orcadas, es preciso evaluar la situación según las condiciones meteorológicas en esas latitudes.

Previo al comienzo y para evitar imprevistos, es necesario chequear la carga de las baterías del PPM de campaña. Una vez hecha la primera observación absoluta del día en el OMP se puede comenzar con la primera etapa del procedimiento.

## 1.1 Primera etapa

### *En Casilla Indigo*

Durante esta etapa no se altera el plan de labor habitual ni el funcionamiento en las instalaciones de casilla Índigo.

### *En Casilla de Absolutas*

Como primera medida se debe configurar la fecha y hora de la electrónica del PPM de campaña en tiempo UTC y debe estar sincronizado con la hora del Sistema Índigo. A su vez, se debe configurar dicha electrónica para que tome lecturas cada 1 minuto. De esta manera será comparable con el registro del sistema Índigo oficial, también cada 1 minuto.

Una vez hecho eso, se debe quitar el teodolito de su pilar e instalar el cabezal del PPM de campaña en ese mismo lugar (Fig. 7) y a la misma altura del telescopio del teodolito (10-15 cm aproximadamente), por lo que será necesario apoyar el cabezal del PPM sobre algo que lo eleve.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que algunos PPM necesitan ser orientados (el cabezal) al norte magnético y otros no, por lo cual debe chequearse esto antes de la instalación.

Teodolito sobre su pilar



PPM de campaña sobre pilar



Fig. 7: Teodolito y PPM de campaña sobre pilar de observación

Únicamente deben estar en la casilla de absolutas los instrumentos requeridos. No debe quedar nada que tenga algún tipo de material ferromagnético, el PPM es un instrumento muy sensible.

Una vez que todo esté en las condiciones requeridas se puede comenzar con el registro. Pasado un tiempo prudencial, generalmente de una hora, debe chequearse que los datos que están siendo registrados en F, sean acordes a los del observatorio. De no ser así, debe revisarse la configuración de la electrónica, las conexiones, orientación del cabezal y como última opción se puede sacudir el cabezal, ya que puede ocurrir que los protones dentro del cabezal (contiene líquido ionizado) se encuentren alineados a una configuración de campo anterior, que no es la correcta.

Cuando se corrobora que los datos son acordes y óptimos se deja transcurrir el tiempo de período de registro estipulado (de 6 a 12 horas, según lo permita la operatividad del OMP). De esta manera finaliza la primera etapa contando con los datos para ser analizados.

## 1.2 Segunda etapa

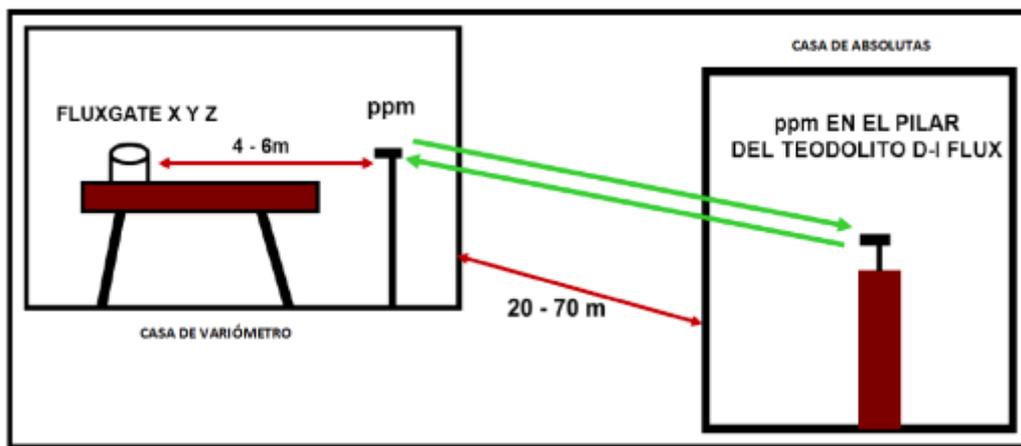
### *En Casilla Índigo*

En esta instancia, el PPM de campaña debe registrar en casilla Índigo (Fig. 8). Por tal motivo, el sistema Índigo debe ser desconectado.

Para desconectar el sistema Índigo y trasladar gran parte de los instrumentos que lo componen, se debe trasladar todo excepto la electrónica y el variómetro. Es decir, se traslada el PPM junto a su electrónica, el digitalizador, el USB Logger y todos los cables que permiten su conexión, a la casilla de absolutas.

Para obtener un registro de F sin inconvenientes, este movimiento requiere de mucha atención y cuidado y de tomar las anotaciones correspondientes que permitan facilitar el análisis posterior de los datos. Es muy importante cada paso, ya que los datos deberán ser comparados en exactamente el mismo instante y periodo de tiempo.

Luego, se deben intercambiar los PPMs, ubicando el PPM de campaña en el lugar del PPM del equipo Índigo (Fig. 9), teniendo en cuenta la orientación del cabezal al norte magnético, si el instrumento requiere. Es importante también, verificar que la fecha y hora de la consola electrónica del PPM de campaña mantenga su configuración en Tiempo UTC y el ciclo de lecturas sea cada un minuto. Luego, se lo conecta a su electrónica para poder comenzar con el primer registro cuando el segundero muestre 00 segundos.



**Fig. 8** Diagrama de intercambio del PPM Índigo por el PPM de campaña y distribución de instrumentos.



**Fig. 9.** Intercambio de cabezal de PPMs

De la misma forma que en la primera etapa, transcurrido un tiempo, es recomendable chequear los datos (mientras que se realizan las conexiones del índigo en casilla absolutas como se describen en el siguiente punto). Si son coherentes, se continúa con el registro. De lo contrario se debe revisar que la configuración de la electrónica sea la correcta, que los cables al PPM estén ajustados, que la carga de la batería sea suficiente, que sea correcta la orientación del cabezal y/o que no haya quedado algún elemento ferromagnético en el interior de la casilla o alrededores al realizar el intercambio de instrumentos.

### **En Casilla de Absolutas**

En esta instancia, debe ser colocado el cabezal del PPM Índigo (que se quitó de casilla Índigo), en el pilar del teodolito (Fig. 10) a la misma altura en que se colocó el anterior en la primera etapa. No es necesario que la posición horizontal del cabezal sea la misma que la del anterior, pero sí debe encontrarse a la misma altura. Por supuesto que si el tipo de instrumento lo requiere, se debe orientar el cabezal al norte magnético.



*Fig.10 Cabezal del PPM Índigo en el pilar del teodolito en casilla de Absolutas.*

Hecho esto, verificadas las conexiones el equipo puede ser alimentado con energía eléctrica y comenzar con el registro en los 00 segundos. Es en esta etapa en la que se presentan la mayor cantidad de errores en el registro debido al movimiento del sistema y el uso de herramientas para su puesta en funcionamiento. Por lo que, transcurrido un tiempo prudencial que permita estabilizar el instrumento, alrededor de una hora, es muy importante verificar que los datos estén siendo registrados correctamente.

Al igual que en la etapa anterior, se debe tratar de abarcar la mayor parte del período nocturno y una vez más, en el caso de Orcadas, se deben evaluar las condiciones meteorológicas pero como en la etapa anterior, el registro deberá tener como mínimo 6 horas lo que hará más óptimo el procesamiento

## **1.3 Finalización de etapas**

Se debe realizar un análisis preliminar que incluye la comparación de los registros obtenidos antes de reubicar todo en su lugar habitual.

Si no se detectan inconvenientes, se puede desconectar el sistema de la casilla de absoluta para reconectarlo en su lugar habitual en la casilla Índigo y en la casilla de absolutas se debe volver a colocar el teodolito en su posición y funcionamiento normal. En cambio, si se reconoce alguna anomalía, antes de reposicionar el

sistema Indigo, se debe repetir la segunda etapa ya que en general, es la que presenta mayores inconvenientes en el registro.

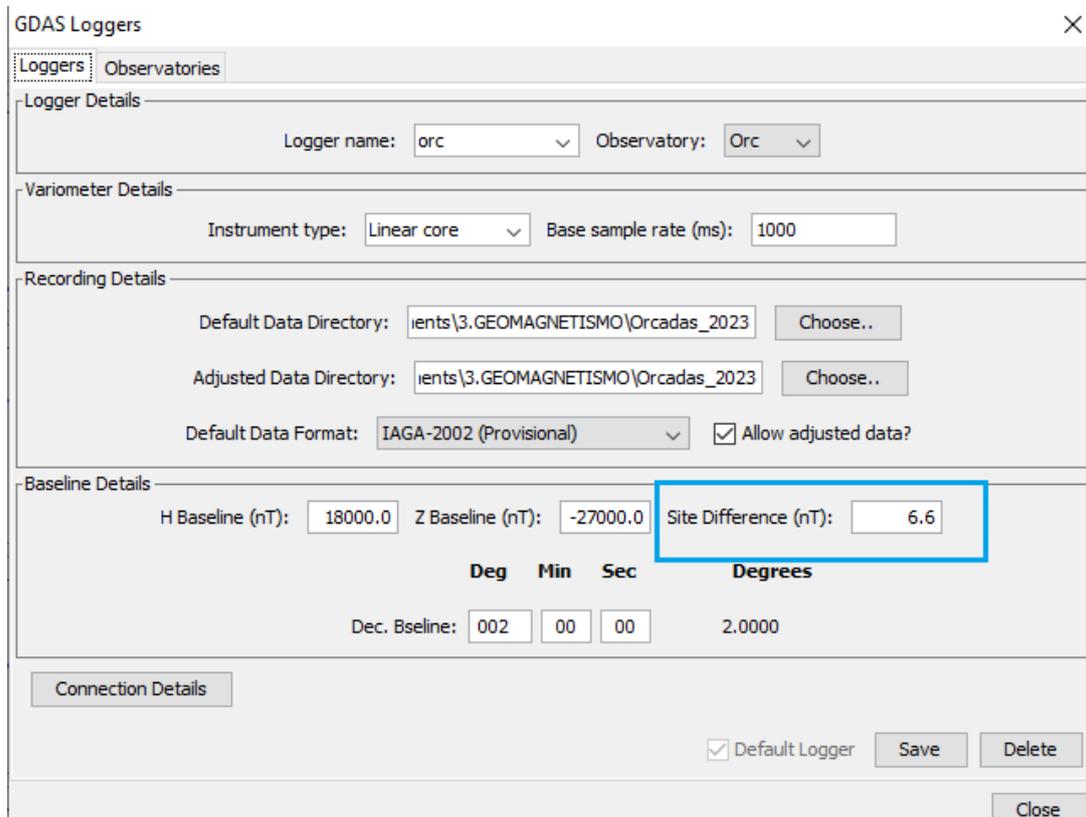
Luego, en el caso que se reconozca la anomalía en la primera etapa, confirmando que el registro de la segunda etapa está bien, entonces se desconecta el sistema de la casilla de Absolutas, reconectándose en la casilla Indigo, y se repite la primera etapa.

Finalizado cualquiera de los casos anteriores, el OMP se debe poner en su funcionamiento habitual.

## 2. RESULTADOS

Los datos adquiridos en cada una de las etapas del proceso de DS son comparados y analizados en dos planillas de cálculos ya confeccionadas y estandarizadas por el área de Geofísica; una planilla corresponde a la primera etapa y la segunda planilla a la segunda etapa.

De este análisis resulta el valor final de la DS que debe ser actualizado y aplicado a los valores absolutos y las líneas de base del Observatorio. Para esto, el observador en cada observatorio debe modificar este valor en el Sistema GDASView (Fig. 11). Cabe aclarar que cada observatorio realiza este procedimiento de manera independiente, es decir, la DS de ORC no es la misma que en PIL y sus variaciones a lo largo del tiempo tampoco (Fig. 12).



GDAS Loggers

Loggers Observatories

Logger Details

Logger name: orc Observatory: Orc

Variometer Details

Instrument type: Linear core Base sample rate (ms): 1000

Recording Details

Default Data Directory: ients\3.GEOMAGNETISMO\Orcadas\_2023 Choose..

Adjusted Data Directory: ients\3.GEOMAGNETISMO\Orcadas\_2023 Choose..

Default Data Format: IAGA-2002 (Provisional)  Allow adjusted data?

Baseline Details

H Baseline (nT): 18000.0 Z Baseline (nT): -27000.0 Site Difference (nT): 6.6

Deg Min Sec Degrees

Dec. Baseline: 002 00 00 2.0000

Connection Details

Default Logger Save Delete

Close

Fig.11 Configuración de la DS en el GDAS

DIFERENCIA DE SITIO ORCADAS												
Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
DS (nT)	4,0	-	4,8	8,4	4,2	-	-	5,1	6,8	-	9,4	6,6
DIFERENCIA DE SITIO PILAR												
Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
DS (nT)	0,7	0,1	-	-	0,8	-	-	5,2	-	-	3,3	

Fig.12 DS de ORC y PIL 2012-2023

*Nota. La ausencia de actualizaciones del valor de DS en algunos años responde a causas de fuerza mayor e impedimentos operativos. En PIL, para el 2023 el procedimiento está estipulado para el segundo semestre del año.*

## CONCLUSIONES

Para poder contar y garantizar con datos de calidad, desde los OMP del SMN, se mantiene el objetivo de cumplir con todos los procesos estipulados y requeridos por INTERMAGNET. El procedimiento de Control de Diferencia de Sitio es fundamental al momento de lograr la buena calidad del dato. Este dato proporciona información sobre si las condiciones magnéticas ambientales del sitio han sido modificadas a lo largo del tiempo.

Las condiciones magnéticas de un OMP pueden variar por diferentes motivos, como ser el crecimiento urbano de los alrededores, construcción y/o reconstrucción edilicia, reparación de las casillas que alojan los instrumentos o del predio del OMP, reacondicionamiento del sistema eléctrico, etc. A pesar de que estos cambios pueden provocar el aumento o disminución de la intensidad del CMT en alguna de las casillas o en ambas y, por lo tanto, modificar el valor de DS, lo importante es poder conocer cuantitativamente el cambio en la intensidad que estos provocan.

En un contexto ideal, el valor de DS se mantendría siempre constante, lo que significaría que las condiciones magnéticas del lugar, tanto en las casillas como en los alrededores del predio, no han sufrido variaciones (al menos no detectables por los instrumentos) desde que el OMP ha sido instalado.

Si, en cambio, una modificación en la infraestructura provoca cambios en la DS (a pesar de utilizar la menor cantidad de elementos ferromagnéticos para minimizar esta variación), entonces este cambio debe ser medido y aplicado para poder corregir los registros continuos del Observatorio. En estos casos, los cambios pueden ser predecibles y registrados en el tiempo, antes y después de las modificaciones estructurales, pero los cambios producidos en sitios externos al OMP no se pueden predecir. Es por esto último que es tan importante controlar si existen variaciones en la DS con una frecuencia mínimamente anual.

Es importante aclarar que la Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía (IAGA por sus en inglés) no solo recomienda que este control se realice al menos una vez al año, sino que también sugiere mantener un PPM extra registrando continuamente en un pilar independiente del sistema Indigo para mayor control. Este permite, principalmente, vigilar los cambios magnéticos del ambiente externo del OMP. Por supuesto, también se debe conocer la DS que existe entre este y los sitios de las observaciones absolutas y del registro del Indigo.

## REFERENCIAS

Gil, M.I., Juárez S.H., 2021: Sobre los requerimientos para ingresar y mantener la membresía de la red INTERMAGNET. Nota Técnica SMN 2021-113

Jankowsky, J y Sucksdorf, C., 1996: Guide for magnetic measurements and observatory practice. IAGA. ISBN: 0-9650686-2-5. <http://www.iaga-aiga.org/index.php?id=guides>

Turbitt, C., 2004: Procedure for Determining Instantaneous GDAS Variometer Baselines from Absolute Observations. Seismology and Geomagnetism. Internal Report Draft. British Geological Survey. <http://www.geomag.bgs.ac.uk/indigo/>

## Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía ([rdelia@smn.gov.ar](mailto:rdelia@smn.gov.ar)), Luciano Vidal ([lvidal@smn.gov.ar](mailto:lvidal@smn.gov.ar)) o Martin Rugna ([mrugna@smn.gov.ar](mailto:mrugna@smn.gov.ar)) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo ([macevedo@smn.gov.ar](mailto:macevedo@smn.gov.ar)).