

ÁREA DE GEOMAGNETISMO

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ



**IMPLEMENTACIÓN DE REGISTRADOR
DIGITAL PARA VARIOMETROS
TRADICIONALES DEL TIPO ESCHENHAGEN**

**Erick Vidal Safor
Domingo Rosales Corilloclla**

**Área de Geomagnetismo
Diciembre 2010**

RESUMEN

El área de Geomagnetismo del Observatorio de Huancayo cuenta con variómetros tradicionales mecánicos como sensor a imanes suspendidos y equilibrados los cuales perciben los cambios que ocurren en las distintas componentes del campo magnético que por ellos atraviesan. Este tipo de magnetómetros utilizan un modo de registro por rebote de luz el cuál es registrado en un papel fotográfico.

Los magnetómetros del tipo tradicional han demostrado ser buenos equipos de medición mostrando gran estabilidad en el tiempo, pero su diseño original demanda el uso de papel fotográfico. Hoy en día es escasa la producción de papel fotográfico por lo que la adquisición de este insumo se hace muy costosa. En la actualidad la tecnología ha desarrollado equipos que realizan el mismo trabajo pero de mayor resolución, velocidad de registro entre otros como los magnetómetros tipo FluxGate o de bombeo óptico, llevándolos al desuso a los magnetómetros mecánicos tradicionales del tipo Eschenhagen.

De la misma manera que la tecnología ha contribuido con el desarrollo de nuevos equipos de registro, ésta también ha desarrollado los elementos necesarios que en su conjunto son capaces de reproducir el comportamiento del papel fotográfico haciendo posible la continuidad del registro de los magnetómetros tradicionales mediante medios óptico/electrónicos el cuál brinda la oportunidad a que equipos históricos continúen su funcionamiento registrando la variación del campo magnético terrestre y los datos puedan ser observados en tiempo real.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	4
2 EL CAMPO GEOMAGNÉTICO	4
2.1 Introducción:	4
2.2 Fuentes del Campo Geomagnético.....	4
2.3 Elementos del campo geomagnético:	5
2.4 Medición del campo Geomagnético con Magnetografos Tradicionales.....	6
2.5 Registrador Tradicional.....	6
2.6 Registro Tradicional Fotográfico.....	6
3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE REGISTRO DIGITAL	7
3.1 Diseño del Registrador	7
3.2 Estructura General.....	7
3.3 Etapa de Adquisición	8
3.4 Etapa de Almacenado de Datos	8
3.5 Funcionamiento Global.....	9
4 RESULTADOS	10
4.1 Comparación con Magnetovariometro Intermagnet(FluxGate).....	10
4.2 Residuales	11
5 CONCLUSIONES	12
6 RECOMENDACIONES	12
7 BIBLIOGRAFÍA	13

IMPLEMENTACIÓN DE REGISTRADOR DIGITAL PARA VARIOMETROS TRADICIONALES DEL TIPO ESCHENHAGEN

1 INTRODUCCIÓN

El área de Geomagnetismo del Observatorio de Huancayo, catalogado como Observatorio Estándar Internacional, Cuenta con magnetómetros electrónicos y mecánicos que registran datos geomagnéticos ininterrumpida mente desde el 1º de marzo del año 1922 [H. F. Johnston ET AL, 1948].

Los magnetómetros clásicos utilizados originalmente consistían en magnetovariómetros que contaban con magnetos como elemento sensor, el cuál era influenciado por el campo geomagnético y que en conjunto a un registrador óptico/mecánico se obtenía la variación en el tiempo del campo geomagnético en tres componentes en papeles fotográficos [J. Lankowski and C Sucksdorff - 1996].

Los registros fotográficos posteriores al proceso de revelado tenían que ser escalados mediante vidrios milimetrados obteniendo promedios horarios para cada día por cada componente registrada ajustándolas a las marcas horarias en el registro [J.A. Fleming-1949].

Estos registros fotográficos al pasar del tiempo se han venido descontinuando en uso puesto que los insumos necesarios para su operación tal como el papel fotográfico que se ha hecho escaso y no se cuenta con un medio de registro.

El avance de la ciencia y la electrónica ha permitido la elaboración de nuevos magnetómetros de mayor sensibilidad y facilidad de registro en medios electrónicos, pero también a su vez nos ha permitido la innovación del medio de registro con la implementación de un sistema análogo al papel fotográfico.

2 EL CAMPO GEOMAGNÉTICO

2.1 Introducción

La existencia del campo magnético de la Tierra es conocida desde hace miles de años, por sus aplicaciones a la navegación a través de la brújula.

En el año 1600, el físico inglés de la corte de Isabel I, William Gilbert, publicó la obra titulada "De magnete" considerada como el primer tratado de magnetismo. Gilbert talló un imán en forma de bola y estudió la distribución del campo magnético en su superficie. Encontró que la inclinación del campo en este imán esférico coincidía con lo que se sabía acerca de la distribución del campo terrestre. De este experimento concluyó que la Tierra era un gigantesco imán esférico. Posteriormente, los estudiosos del geomagnetismo observaron que, tomando en cuenta la declinación, la mejor representación del campo terrestre sería un imán esférico cuyo eje de rotación estuviera desviado unos 11º del eje geográfico de la Tierra.

2.2 Fuentes del campo geomagnético

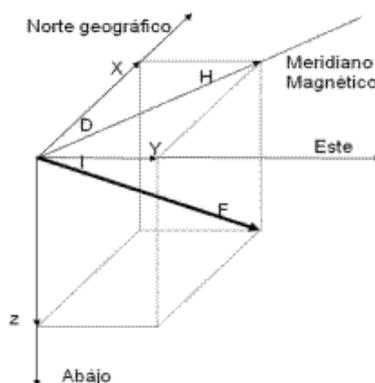
El campo geomagnético que se registra en un observatorio viene a ser la contribución de varias fuentes, entre las principales contribuciones tenemos:

- El 90% del campo geomagnético es generado en el núcleo externo de la Tierra, debido a la diferencia de rotación del plasma entre el núcleo más interno de la Tierra, que rota más lento que el núcleo externo y que lo hace más rápidamente. Este campo es llamado "campo dipolar".
- El 5% es generado en el manto terrestre, debido a las corrientes de convección, este campo es llamado "campo residual".
- El 4% es generado en la corteza terrestre. Este campo es llamado "campo cortical".
- Un 1% del campo es originado fuera de la superficie de la Tierra, es decir, es un "campo externo".

A la suma del campo dipolar con el campo residual es llamado "campo principal", a la suma del campo principal con el campo cortical es llamado "campo interno", y finalmente a la suma del campo interno con el campo externo es llamado "campo total"

2.3 Elementos del campo geomagnético

Para describir el campo geomagnético en la superficie terrestre el Geomagnetismo se recurre al uso de distintos sistemas de coordenadas del tipo topo céntrico cartesiano, cilíndrico y esférico, cuyas componentes son: (X, Y, Z), (H, D, Z), (D, I, F), respectivamente, D e I son ángulos dados en grados, y X, Y, Z, H y F son magnitudes determinadas en nano Teslas (nT), éstas componentes también son denominados elementos geomagnéticos quienes se encuentran relacionados por las siguientes ecuaciones:



$$H = F \cos(I)$$

$$X = H \cos(D)$$

$$Y = H \sin(D)$$

$$Z = F \sin(I)$$

$$F^2 = H^2 + Z^2$$

$$H^2 = X^2 + Y^2$$

Donde:

D = Declinación (grados de arco)

I = Inclinación (grados de arco)

F = Intensidad Total (nT)

H = Intensidad Horizontal (nT)

X = Componente Norte (nT)

Y = Componente Este (nT)

Z = Intensidad Vertical (nT)

Figura 1 Elementos del campo geomagnético

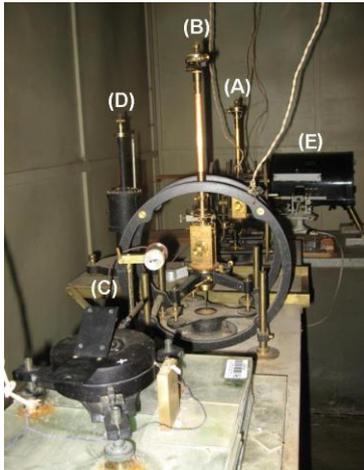
Es necesario remarcar que para la conversión del cambio angular de la declinación dD de nT a minutos de arco y viceversa se da por las siguientes formulas [K. A. Wienert, 1970]:

$$dD^{(')} = \frac{1}{\left(H^{(nT)} \text{sen}(1') \right)} dD^{(nT)} \quad (1)$$

$$dD^{(nT)} = H^{(nT)} \text{sen}(1') dD^{(')} \quad (2)$$

2.4 Medición del campo geomagnético con magnetógrafos tradicionales

Los magnetógrafos tradicionales constan de tres variómetros quienes miden la declinación, intensidad horizontal y intensidad vertical, y un registrador fotográfico [H. F. Johnston ET AL, 1948] tal como se muestra en la Fig. 2



- (A) Componente Horizontal H
- (B) Componente Declinación D
- (C) Componente Inclinación Z
- (D) Componente H Insensible
- (E) Registrador fotográfico
Toepfer

Fig. 2 (A,B,C,D) Magnetovariómetro Eschenhagen, (E) Registrador Toepfer

El registro obtenido comprende un total de 24 horas de registro de las componentes de Declinación, Intensidad Horizontal, Intensidad Vertical y también una componente horizontal H de menor sensibilidad.

2.5 Registrador Tradicional

Registrador fotográfico (Fig. 3) originalmente constituido por un tambor rotativo con una velocidad de giro uniforme dando una vuelta por día con un ancho aproximado de 20cm y de 16cm de diámetro. Los registros obtenidos son marcados verticalmente cada 10 minutos y marcas mayores cada hora [K. A. Wienert-1970].

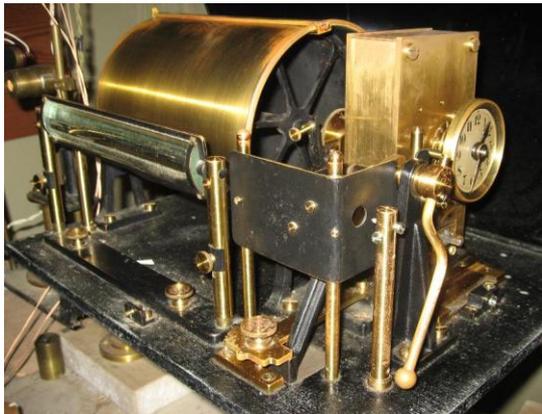


Fig. 3 Registrador Fotográfico Toepfer

2.6 Registro tradicional fotográfico

Actualmente debido a la escases de papel fotográfico y sumado a nuevos magnetómetros que poseen registro electrónico y mayor sensibilidad, la adquisición de datos geomagnéticos mediante los magnetómetros tradicionales nos han llevado a la innovación de la manera de registro mediante un principio similar al comportamiento del papel fotográfico, utilizando un arreglo de sensores ópticos en disposición lineal.

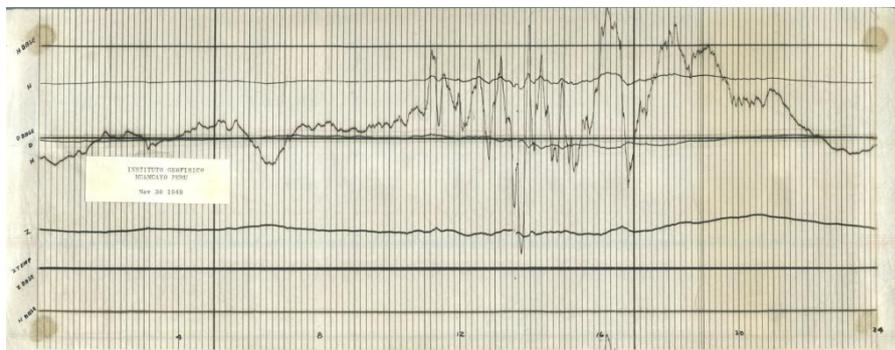


Fig. 4 Magnetograma fotográfico

3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE REGISTRO DIGITAL

3.1 Diseño del registrador

Similar al registro fotográfico tradicional que utilizaba papel fotográfico, mediante el uso de un sensor de carga acoplada CCD que consta de un arreglo unidimensional de 1x2088 celdas sensibles a la luz, (Fig. 5) se desarrolló un sistema de registro detectando la posición de la luz reflejada de cada variómetro en una superficie capaz de medir la posición de retorno del trazo.



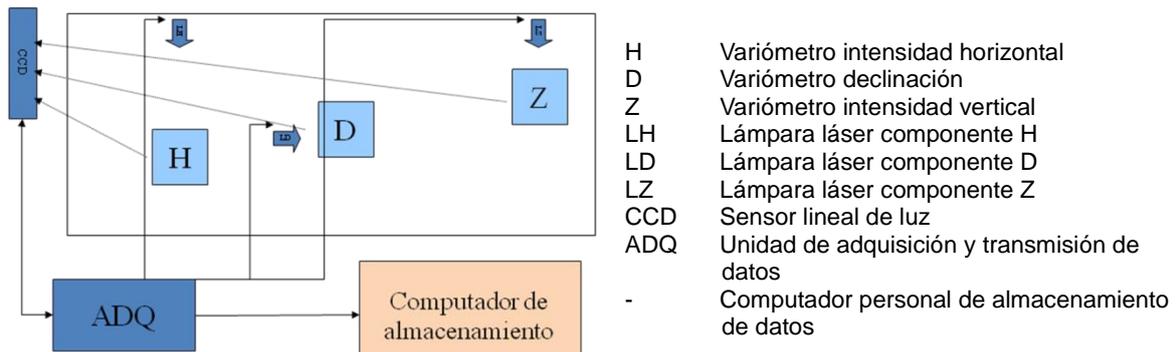
Fig. 5 Sensor de carga acoplada lineal CCD

El registro de datos geomagnéticos mediante el uso de un sensor de carga acoplada nos da la opción de continuar con el registro mediante variómetros tradicionales pudiendo discontinuar el uso de papel fotográfico, y teniendo como valor agregado la revisión en tiempo real del comportamiento del campo geomagnético, incrementar la resolución en tiempo y la resolución en amplitud de los datos.

3.2 Estructura General

Este sistema de adquisición está compuesto por 2 etapas (Diag. 1), una que adquiere la data de los magnetómetros, y otra que almacenan la data. Esta se encuentra basada en el registro secuencial de cada componente de campo geomagnético (Horizontal

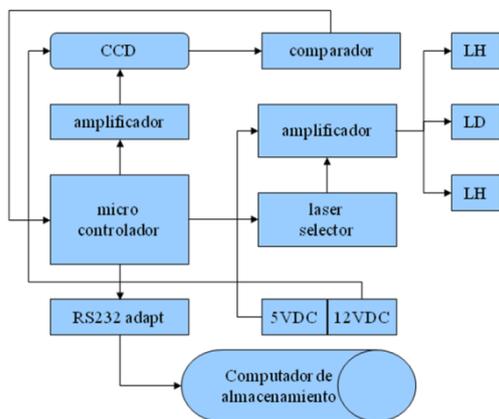
H, Declinación D, e Inclinación Z), luego envía empaquetados datos correspondientes mediante un protocolo en formato serie al computador de registro quien adiciona la marca de tiempo por dato y almacena en archivos diarios la data recibida produciendo archivos de datos crudos, y datos instantáneos de minuto.



Diag. 1 Variómetro Eschenhagen con registro digital

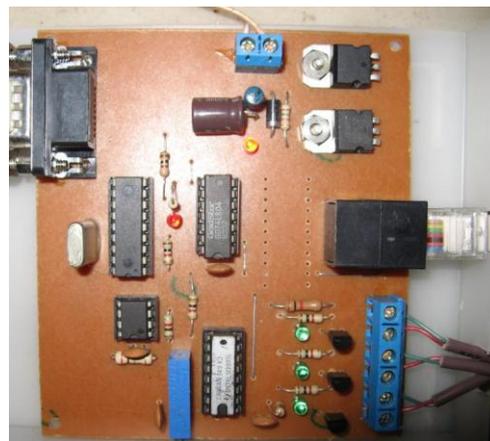
3.3 Etapa de adquisición

Esta etapa tiene como función leer la información en los magnetovariómetros mediante la emisión de un rayo láser y la recepción de la deflexión producida por el espejo del variómetro sobre un sensor óptico lineal. Este proceso se repite por cada magnetovariómetro y es administrado por un micro controlador que una vez obtenido el dato de cada componente los empaqueta y envía al computador mediante puerto serie RS-232.



- CCD Sensor de carga acoplada
- LH, LD, LZ, Lámparas láser

(A)



(B)

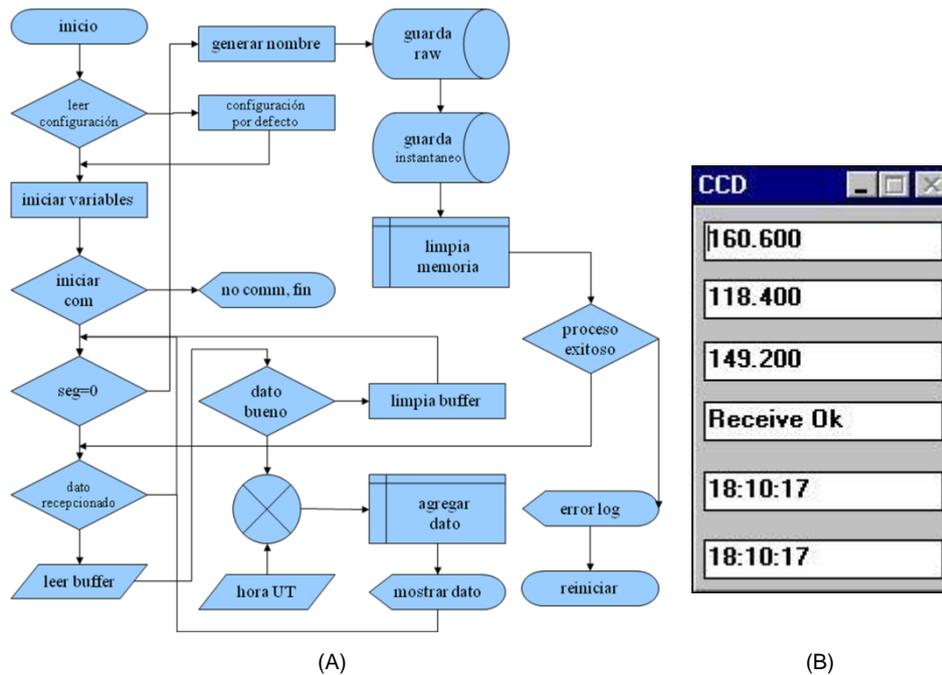
Diag. 2
Diagrama de bloques de la unidad de adquisición
Unidad de adquisición física

Los datos técnicos obtenidos producto de este diseño se pueden apreciar en la Tabla 1, éstas características están en función a la resolución del sensor CCD, y a la distancia entre el magnetovariómetro y el sensor, siendo mayor la resolución cuanto mayor sea la distancia.

Velocidad de muestreo	1 Dato (HDZ)/Segundo
Sensor de resolución	2088 pixeles
Software	MAG V1.1
Interface de comunicación	Serial RS-232

3.4 Etapa de almacenamiento de datos

El almacenado de datos es realizado por un computador que implementado con un software denominado “MagCCD.exe” escrito en el lenguaje de programación C++ para Windows. En éste se registran los datos recibidos del registrador digital por medio del interface serial RS-232 del computador, generando archivos diarios conteniendo datos crudos de segundo y otro con datos de minuto con parámetros de ajuste tales como línea de base y valor de escala. En el Diagrama 3 se muestra el flujo del programa de adquisición.



Diag. 3
Diagrama de flujo de registrado de datos
Programa de adquisición

El programa implementado para la adquisición ha sido escrito para un requerimiento mínimo de recursos demandando que el computador posea mínima mente un sistema operativo Windows, 5MB de espacio en disco duro para el programa, y por lo menos 100MB de espacio libre por mes de datos, y un puerto serie RS-232 para comunicación de datos.

3.5 Funcionamiento global

Durante la adquisición de un dato, una luz láser es emitida desde una lámpara la cual se refleja en el espejo de uno de los variómetros, proyectándose sobre una superficie similar al papel fotográfico de el cual el sensor lineal CCD captura una imagen lineal. Ésta imagen posee una secuencia de 2088 pixeles del cual un grupo en alguna posición poseen niveles de señal en amplitud en una posición específica, esta información corresponderá a la lectura de la deflexión del magneto del variómetro y por lo tanto la variación del campo geomagnético.

Este proceso de adquisición de un dato es realizado tres veces, luego los datos colectados son enviados en formato serie a un computador donde se almacenan los datos juntamente con el tiempo universal.

4 RESULTADOS

4.1 Comparación con Magnetovariómetro Intermagnet(FluxGate).

Luego de la implementación físico y lógica del sistema de registro, y tras pruebas preliminares, el sistema fue instalado en el laboratorio principal de variómetros del Observatorio de Huancayo a una distancia aproximada de cuatro metros de un magnetómetro FluxGate con quien hicimos las siguientes pruebas de correlación para la fecha: 04/09/2010, elegido por ser un día de baja actividad geomagnética.

- **Componente H**

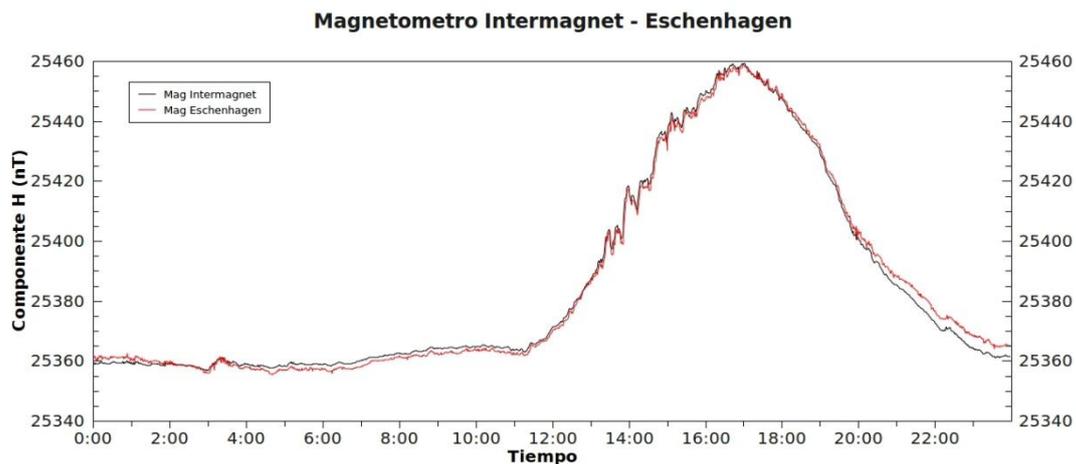


Fig. 6 Correlación componente Horizontal H entre magnetómetros: FluxGate y Eschenhagen

- **Componente D**

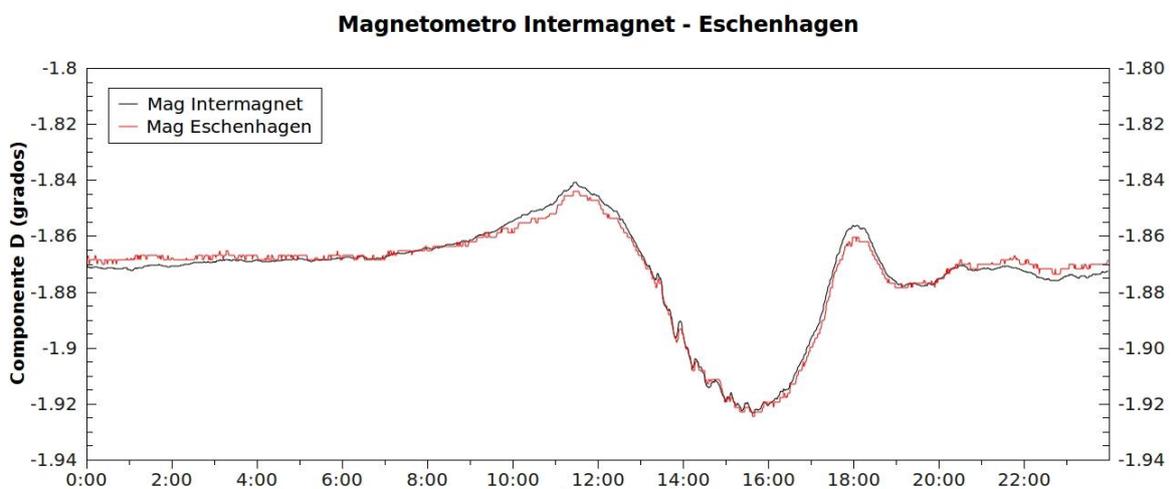


Fig. 7 Correlación componente Declinación D entre magnetómetros: FluxGate y Eschenhagen

- **Componente Z**

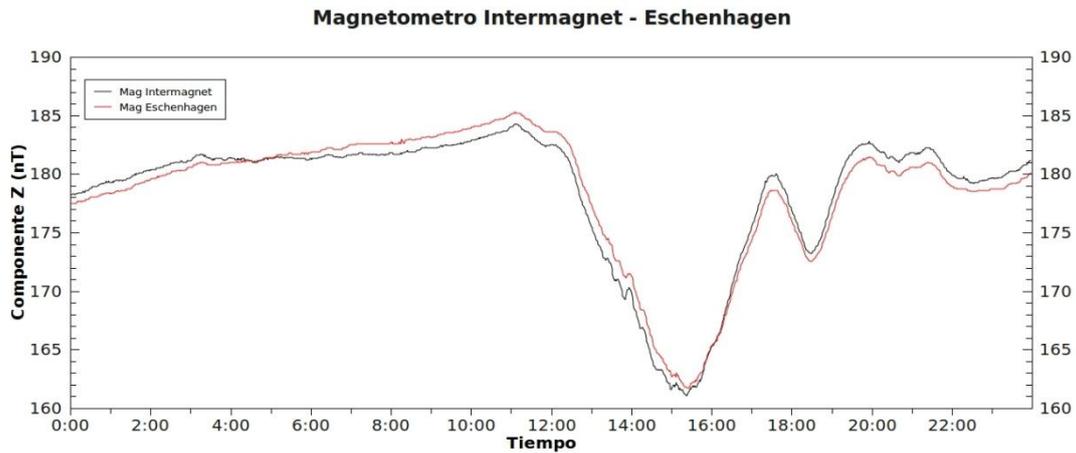


Fig. 8 Correlación componente Vertical Z entre magnetómetros: FluxGate y Eschenhagen

4.2 Residuales

Los datos finales reducidos del magnetovariógrafo Eschenhagen con registro digital son comparados con los datos finales del magnetovariógrafo principal Intermagnet. y la diferencia entre ambos magnetómetros es mostrada en la Figura 9.

Las curvas en la Figura 9 nos muestran la linealidad del magnetómetro Eschenhagen en relación al magnetómetro Intermagnet, observándose que la componente horizontal H tiene una desviación estándar de 2.07 nT, para la componente Z 1.03 nT y en la declinación D es de 0.14 minutos. Los valores de estas desviaciones estándar mejoraran aun más cuando se introduzca el factor de torsión de los hilos que suspenden a los imanes.

Cabe señalar que ambos magnetómetros se encuentran en el mismo ambiente, y las variaciones que figuran en parte es responsable el factor de torsión que no fue ingresado para los cálculos.

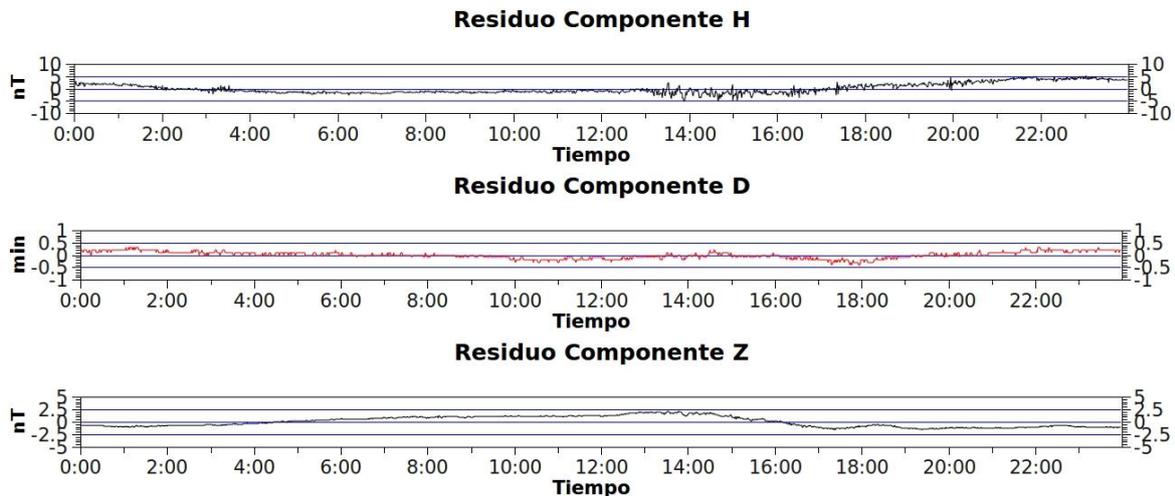


Fig. 9 Residuales entre magnetómetros Eschenhagen e Intermagnet

5 CONCLUSIONES

- La elaboración e implementación de el sistema de registro digital no ha requerido que se hagan modificaciones al Magnetógrafo instalado, tan solo se tuvo que añadir lámparas de láser y un registrador digital mismos que pueden ser retirados rápidamente volviendo el Magnetógrafo a su estado original con su registrador fotográfico.
- Los magnetovariómetros tradicionales son equipos altamente estables en el tiempo, pero su sistema de adquisición fotográfico los hace obsoletos. La implementación de éste sistema de adquisición de datos de manera electrónica da la oportunidad de la continuidad de operación de éstos equipos, evitando que queden en desuso. En muchos observatorios estos equipos sirven de respaldo a los magnetómetros digitales, cuando estos últimos por diversos motivos dejan de tomar datos, es cuando los magnetovariómetros mecánicos toman vital importancia y evitan la pérdida de datos.
- Las pruebas realizadas y han demostrado la confiabilidad de los datos de estos magnetómetros obteniéndose diferencias inferiores a 5nT para la componente Horizontal H.
- Los Magnetovariógrafos tradicionales son excelentes materiales educativos en el entendimiento del comportamiento del campo geomagnético para estudiantes de Educación secundaria y Superior.
- Este método de adquisición electrónica puede ser empleado para Observatorios de bajos recursos que aún cuenten con Magnetovariógrafos tradicionales.
- Actualmente este magnetovariómetro Eschenhagen se mantiene en operación y los datos son presentados en tiempo real en la página web:

<http://190.40.16.36/HyoGeomag/magccd/projmccd.htm>

6 RECOMENDACIONES

- Se recomienda mantener siempre en stock papel fotográfico para los Magnetovariógrafos para casos extremos donde los equipos electrónicos dejen de operar.
- Los magnetovariómetros tradicionales del tipo Eschenhagen con los que cuenta el Observatorio de Huancayo son equipos históricos que no deben discontinuar su uso.
- Es recomendable mantener los equipos tradicionales operativos en el caso de emergencias.
- Se recomienda la implementación de sistemas de registro electrónico los cuales en conjunto a Magnetovariógrafos tradicionales son excelentes materiales didácticos.

7 BIBLIOGRAFÍA

Notes on Geomagnetic Observatory and Survey Practice, UNESCO, Belgium, WIENERT K., 1970. pp. 34-36, 151-152.

Magnetic Results from Huancayo Observatory, Peru H. F. Johnston ET AL, 1948. pp. 9-10

Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice, Jerzy Jankowski and Christian Sucksdorff – 1996, pp. 59-60

Terrestrial Magnetism and Electricity, J.A. FLEMING, 1949 pp. 103-109

El Geomagnetismo, Instituto Geofísico de la UNAM, México, Barreto, L. M., 1997, pp. 25-27, 32-34.