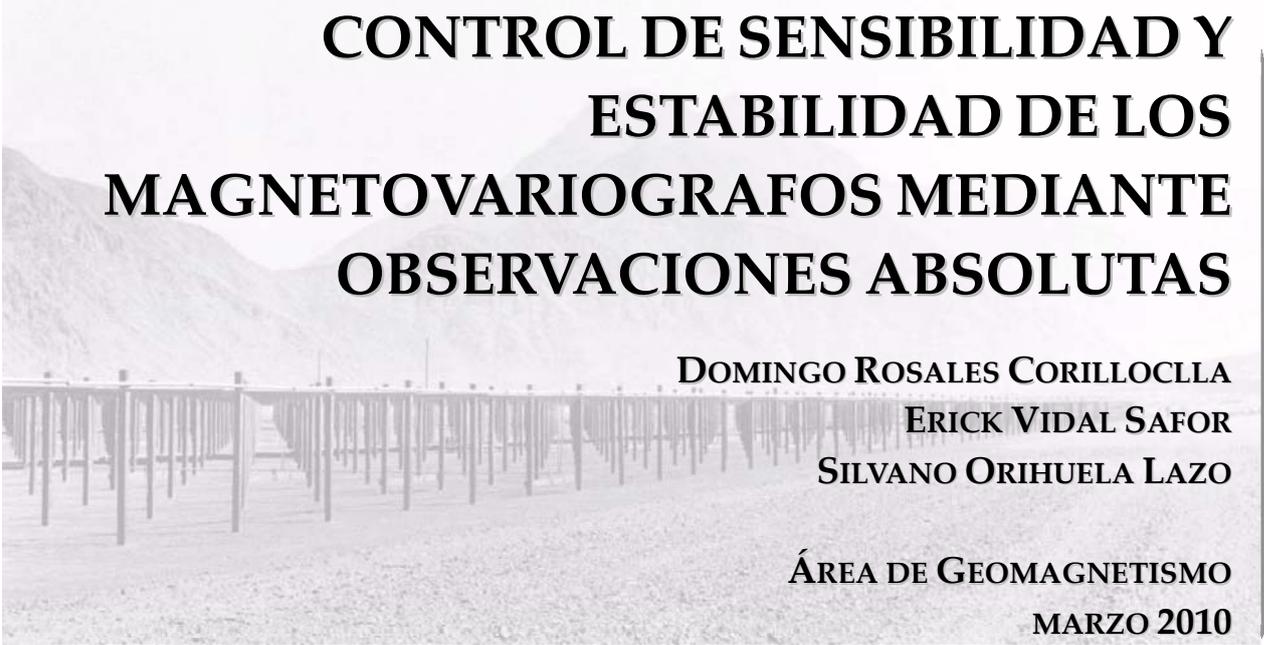


RADIO OBSERVATORIO DE JICAMARCA

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ



**CONTROL DE SENSIBILIDAD Y
ESTABILIDAD DE LOS
MAGNETOVARIÓGRAFOS MEDIANTE
OBSERVACIONES ABSOLUTAS**

DOMINGO ROSALES CORILLOCLA

ERICK VIDAL SAFOR

SILVANO ORIHUELA LAZO

ÁREA DE GEOMAGNETISMO

MARZO 2010

RESUMEN

Uno de los aspectos más importante en un Observatorio Geomagnético es el control de la calidad de los datos que se registran, para ello a los instrumentos geomagnéticos se les aplica diversas técnicas de control para evaluar su performance. En este caso realizamos un control de calidad a los magnetovariografos como son: Sensibilidad, linealidad y estabilidad.

Se aplica una técnica que permite determinar el estado operativo de los magnetovariografos sin la necesidad de tener que parar el registro de datos, evitando de esta manera la pérdida de datos no registrados y tener que manipular los magnetovariografos físicamente para conocer su estado de operatividad.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	4
2	INSTRUMENTOS DE MEDICIONES GEOMAGNÉTICAS	4
2.1	Elementos Geomagnéticos	4
2.2	Instrumentos Geomagnéticos	5
3	DESARROLLO	6
3.1	Toma de mediciones absolutas y su reducción	6
3.2	Correlación de las mediciones absolutas con los magnetovariografos	6
4	RESULTADOS	8
4.1	Variación del campo geomagnético	8
4.2	Magnetovariografo GRL	8
4.3	Magnetovariografo ERI	10
4.4	Magnetovariografo CCD.....	11
4.5	Residuales.....	12
5	CONCLUSIONES	13
6	RECOMENDACIONES	13

CONTROL DE SENSIBILIDAD Y ESTABILIDAD DE LOS MAGNETOVARIOGRAFOS MEDIANTE OBSERVACIONES ABSOLUTAS

1 INTRODUCCIÓN

El Observatorio Geomagnético de Huancayo, por ser un observatorio estándar internacional, requiere que los datos que se registran sean de la más alta calidad; para ello es necesario realizar controles permanentes y periódicos de la sensibilidad, linealidad, y estabilidad de sus magnetovariografos.

El aspecto más importante que se toma en cuenta sobre los datos que produce un observatorio geomagnético es la estabilidad de la línea de base. Esta línea es la diferencia entre los datos calibrados de los magnetovariografos y las mediciones absolutas. Una línea de base con muchas observaciones absolutas, baja dispersión, pocos saltos, y cambios es una buena señal de la calidad de los datos que produce este instrumento[Maus et al, 2010.]

Para el control de operatividad de los magnetovariografos existen diversas técnicas los cuales permiten conocer la situación en la que se encuentran cada componente. Normalmente los magnetovariografos operan con tres componentes: H, D y Z o X, Y y Z.

La técnica que aplicamos permite que los magnetovariografos continúen operando normalmente. No es necesario detener el registro y trasladar el magnetovariografo a un laboratorio de calibración para la verificación de su sensibilidad y linealidad, tampoco inducimos campos magnéticos mediante bobinas sobre el sensor para verificar su respuesta. Alternativamente a estas técnicas clásicas, hacemos uso de los instrumentos absolutos para realizar la intercomparación y luego hacer un análisis matemático de correlación, determinando su sensibilidad (valor de escala), linealidad y estabilidad (línea de base) de cada uno de las componentes.

Uno de los aspectos importantes y determinantes es contar con observadores altamente capacitados, entrenados y que estén en permanente actividad en toma de datos absolutos. La toma de mediciones absolutas requiere de la habilidad y destreza de los observadores para realizar este trabajo. El Observatorio Geomagnético de Huancayo cuenta con tres observadores capacitados y entrenados para realizar este trabajo: Silvano Orihuela, Domingo Rosales y Erick Vidal, quienes cada dos (2) días realizan la toma de mediciones absolutas.

2 INSTRUMENTOS DE MEDICIONES GEOMAGNÉTICAS

2.1 Elementos Geomagnéticos

Para describir completamente un campo geomagnético registrado en la superficie terrestre, recurrimos a diversos instrumentos que nos permiten determinar su magnitud, dirección y sentido topo céntrico (magnitud vectorial topo céntrico); por lo que en geomagnetismo usualmente recurrimos al uso de los 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 y I son ángulos determinados en grados de arco, y X, Y, Z, H y F son magnitudes determinadas en nanoteslas (nT). Estas siete componentes en Geomagnetismo son llamados elementos geomagnéticos. La relación entre los elementos geomagnéticos viene dado por:

$$H = F \cos I \quad (1)$$

$$X = H \cos D \quad (2)$$

$$Y = H \sin D \quad (3)$$

$$Z = F \sin I \quad (4)$$

$$F^2 = H^2 + Z^2 \quad (5)$$

$$H^2 = X^2 + Y^2 \quad (6)$$

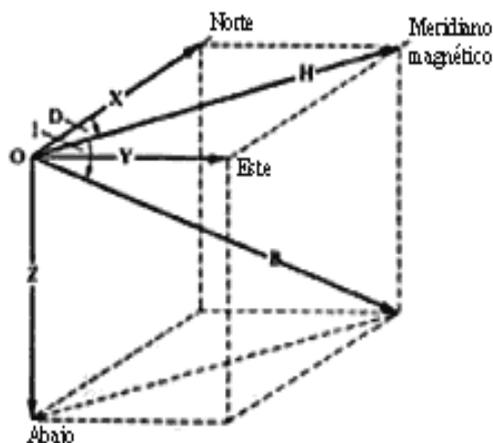


Figura 1 Elementos geomagnéticos.

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)

Las relaciones dadas de 1 a 5 son aplicables para las magnitudes totales. Para el caso de variaciones estos son derivados mediante la aplicación de las herramientas matemáticas de diferenciación. La conversión del cambio angular de la declinación dD de nT a minutos de arco y viceversa es dado por las siguientes relaciones [Wienert, 1970]:

$$dD' = \frac{1}{H^{nT} \text{ sen } 1'} dD^{nT} \quad (6)$$

$$dD^{nT} = H^{nT} \text{ sen } 1' dD' \quad (7)$$

2.2 Instrumentos Geomagnéticos

Existen dos tipos de instrumentos geomagnéticos: Instrumentos absolutos e instrumentos de variaciones (magnetovariografos) Ambos tipos de instrumentos no necesariamente registran bajo el mismo sistema de coordenadas, por lo que haciendo uso

Apartado 130207, Lima 13, Perú

Teléfonos (+51-1)317-2313 - Fax (+51-1)317-2312

de las relaciones entre elementos geomagnéticos absolutos y las relaciones matemáticas para las variaciones, podemos pasar de un sistema de coordenadas a otro indistintamente.

Los instrumentos usados en el Observatorio de Huancayo para mediciones de absolutos son:

- Magnetómetro Diflux (Teodolito no magnético con sensor fluxgate). Registra D y I.
- Magnetómetro de protones, registra F.

Y los instrumentos que registran variaciones conocidos como magnetovariografos usados en el Observatorio de Huancayo son:

- Principal: Magnetovariografo Digital GRL (del tipo fluxgate) con registro de componentes dH, dD y dZ.
- Respaldo: Magnetovariografo Digital ERI (del tipo fluxgate) con registro de componentes dH, dD y dZ.
- En fase de prueba: Magnetovariografo Analógico-Digital CCD (del tipo imán suspendido) con registro de componente dH.

3 DESARROLLO

3.1 Toma de mediciones absolutas y su reducción

El día 02 de Marzo de 2010 se realizó una serie continua de mediciones absolutas desde las 12:30 hasta las 20:00 horas (Tiempo Universal). Se realizó 29 juegos de observaciones absolutas y luego fueron reducidos; para ello se utilizó el formato para observaciones absolutas y reducción (Ver anexo 1)



Magnetometro de protones Barringer



Magnetometro Diflux

Figura 2 Instrumentos de observaciones absolutas.

3.2 Correlación de las mediciones absolutas con los magnetovariografos

Las mediciones absolutas D, I y F mediante las relaciones (1) y (4) son pasados a las componentes H, D y Z absolutos. Los datos registrados por los magnetovariografos son aplicados en las siguientes relaciones:

$$dH^{nT} = dH_{mV} S_H \quad (8)$$

$$dD' = \frac{1}{H^{nT} \text{ sen } 1'} dD_{mV} S_D \quad (9)$$

$$dZ^{nT} = dZ_{mV} S_Z \quad (10)$$

Donde dH, dD y dZ son las variaciones y S_H, S_D y S_Z son los valores de escala. Las componentes H, D y Z absolutos son correlacionados con (8), (9) y (10) respectivamente, obteniéndose de esta forma la performance de cada componente, y determinándose su sensibilidad (valor de escala), estabilidad (línea de base) y linealidad.

Si los datos que se obtiene del magnetovariografo no contienen ningún valor de escala predefinido (valor de escala de fábrica) entonces el análisis de correlación nos determina el valor de escala que se debe de introducir en los datos, para así obtener los datos finales. Pero si los datos que se obtienen del magnetovariografo contienen un valor de escala de fábrica, mediante este análisis es posible determinar cual es ese valor de escala de fábrica con el que ya vienen los datos; esto se obtiene de la siguiente manera:

Si los datos contienen un valor de escala, predefinido previamente en el análisis de correlación, lo que se obtiene es el valor de escala que se debe corregir S_c que es el valor que se necesita corregir a los datos del magnetómetro, para así obtener el valor de escala ideal $S_i = 1$. Por consiguiente haciendo uso de esta definición de valor de escala ideal, el valor de escala de fábrica con el que está operando el magnetómetro $S_{factory}$ es obtenido mediante la siguiente relación:

$$S_{factory} S_c = S_i = 1 \quad (11)$$

$$S_{factory} = 1/S_c \quad (12)$$

De esta forma podemos determinar la sensibilidad de fábrica de cada componente a la que viene operando, y también determinar cuánto es la sensibilidad que se debe de introducir en los datos a fin de obtener los valores finales.

Los valores finales de las componentes de los magnetovariografos son determinados mediante las siguientes relaciones:

$$H = H_0 + S_H dH - g_H \Delta t \quad (13)$$

$$D = D_0 + S_D dD - g_D \Delta t \quad (14)$$

$$Z = Z_0 + S_Z dZ - g_Z \Delta t \quad (15)$$

- donde: H₀, D₀ y Z₀ son las líneas de base para cada componente, dH, dD; y dZ son los valores registrado por los magnetovariografos dado en milivoltios mV .
- S_H, S_D y S_Z son los valores de escala que se expresan en nT/mV o en $^{\circ}/mV$.
- g_H, g_Z y g_D son los valores de los coeficientes de temperatura dados en (nT/°C) para H y Z y en (°/C) para D.
- Δt es la diferencia de temperaturas correspondientes a la temperatura del instante en el que se calcula la componente, t, y la temperatura de referencia, t₀.

4 RESULTADOS

4.1 Variación del campo geomagnético

El campo geomagnético no es constante, continuamente varía en el tiempo. Para realizar el control de línea de base y línea de base de los magnetovariografos es recomendable hacer mediciones absolutas en días que no haya alta actividad geomagnética. El día 2 de marzo del 2010, corresponde a un día de actividad tranquilo ver Figura (3)

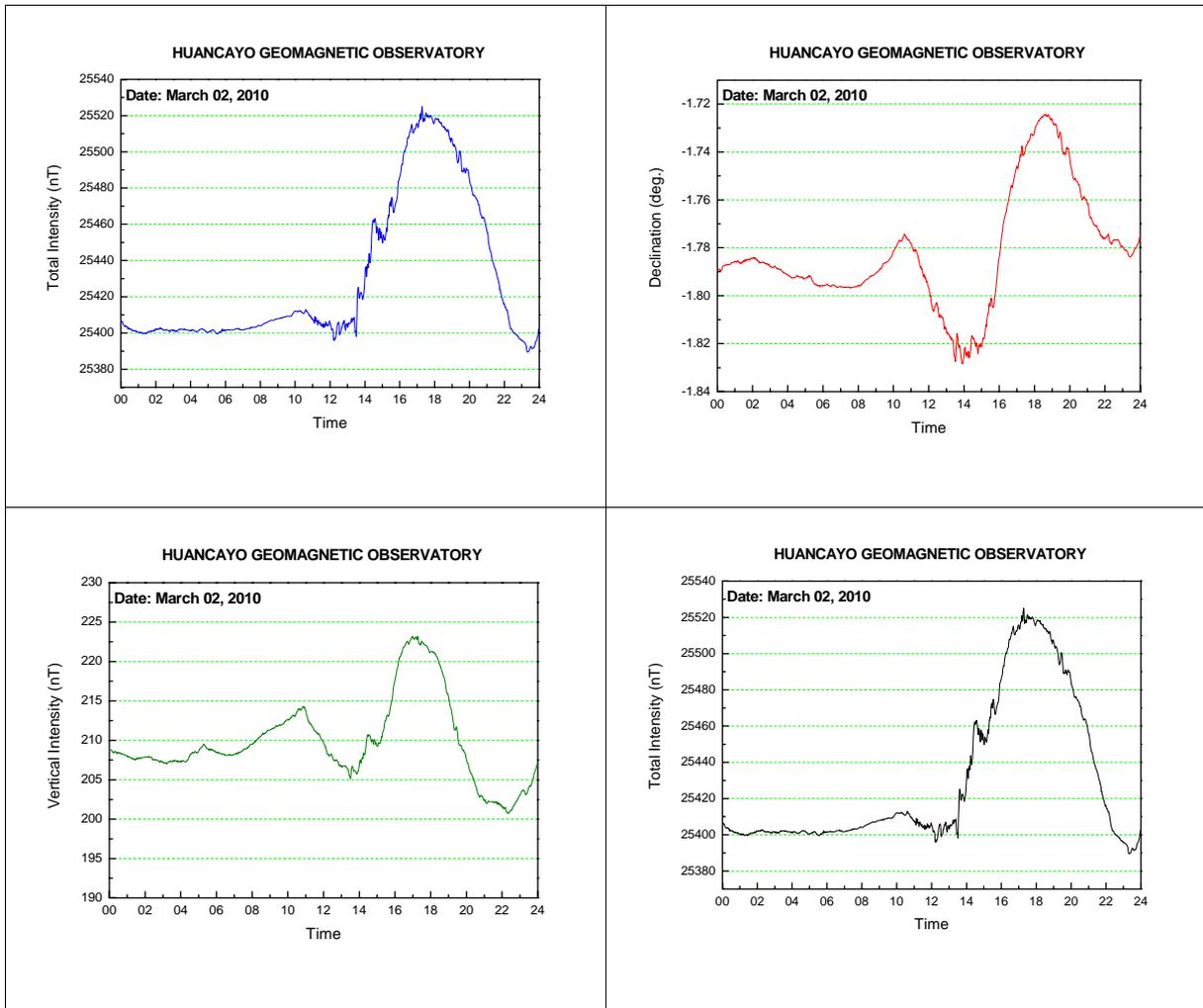


Figura 3 Magnetograma Componente H, D, Z y F.

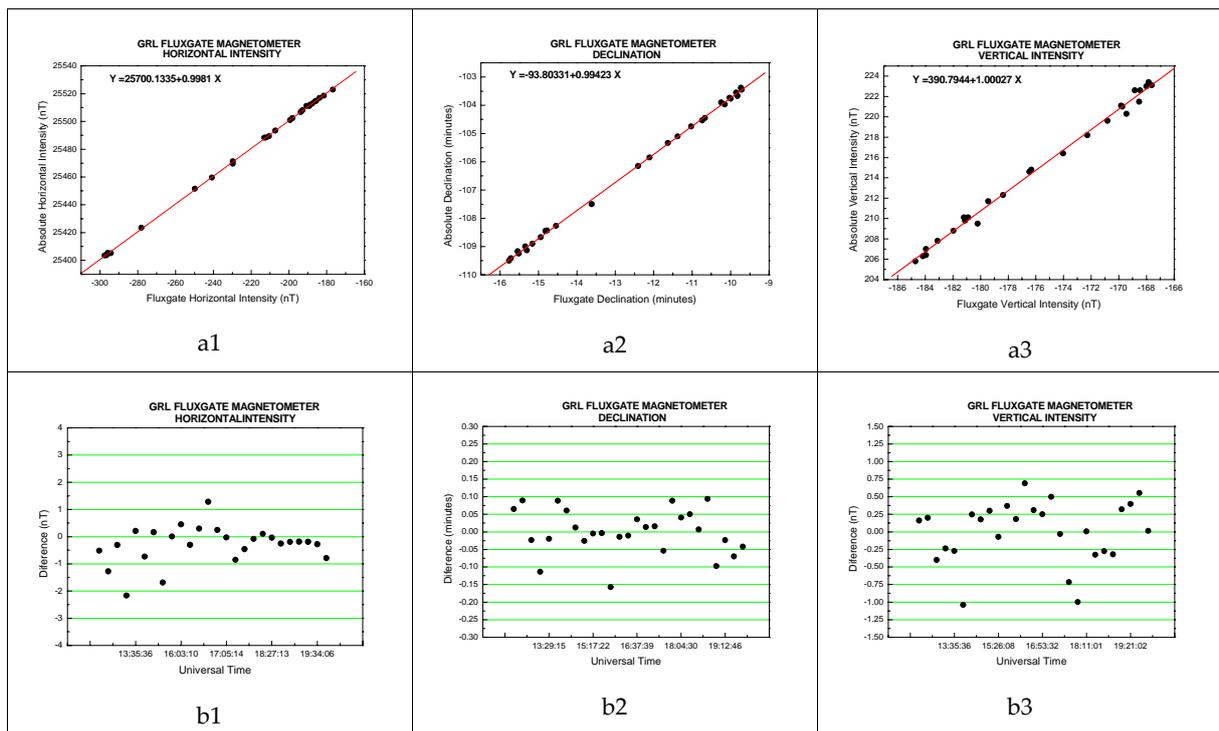
4.2 Magnetovariografo GRL

Magnetovariografo principal del Observatorio de Huancayo del tipo fluxgate. El análisis de correlación matemática entre las observaciones absolutas y la variación de sus componentes determinan los siguientes valores:

Component H			Component D		
$H = H_0 + S_{HC} * dH$			$D = D_0 + S_{DC} * dD$		
Parameter	Value	Error	Parameter	Value	Error
H_0	25700.1335	0.69322	D_0	-93.80331	0.06865

S_{HC}	0.9981	0.00311			S_{DC}	0.99423	0.00535		
R-Square(COD)	SD	N	P		R-Square(COD)	SD	N	P	
0.99977	0.63332	26	<0.0001		0.99928	0.06499	27	<0.0001	
Componente Z $Z = Z_0 + S_{ZC} * dZ$ Parameter Value Error					Factory Scale Values S_H factory = 1.0019 S_D factory = 1.0058 S_Z factory = 0.9997				
Z_0	390.7944	2.47288							
S_{ZC}	1.00027	0.01404							
R-Square(COD)	SD	N	P						
0.9951	0.44894	27	<0.0001						

Los valores de escala de fábrica con los que viene operando este magnetómetro son los más óptimos. El índice de correlación R, su desviación estándar SD y los errores muestran una óptima performance de este magnetovariógrafo en sus tres componentes. El análisis de correlación en forma gráfica es mostrado en la Figura 4.



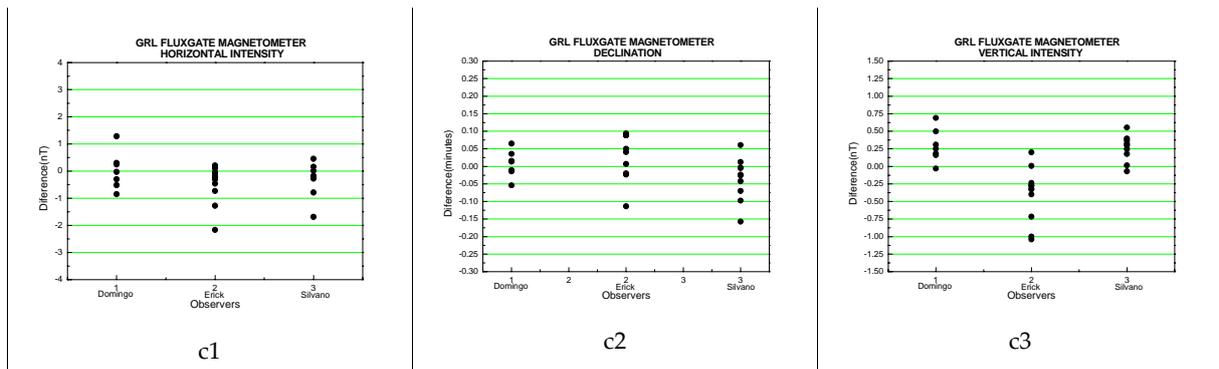


Figura 4 Análisis de correlación magnetovariografo GRL.

En la figura 4c1, 4c2 y 4c3 muestran la desviación durante las observaciones absolutas de cada observador respecto a la línea ideal 0 para las componentes H, D y Z.

4.3 Magnetovariografo ERI

Magnetovariografo de respaldo del Observatorio de Huancayo del tipo fluxgate. Resultados del análisis de correlación:

Component H $H = H_0 + S_{HC} * dH$				Component D $D = D_0 + S_{DC} * dD$			
Parameter	Value	Error		Parameter	Value	Error	
-----				-----			
H ₀	25919.80256	1.46788		D ₀	-34.39627	0.67856	
S _{HC}	1.0022	0.00334		S _{DC}	1.08076	0.01018	
-----				-----			
R-Square(COD)	SD	N	P	R-Square(COD)	SD	N	P
-----				-----			
0.99973	0.67792	26	<0.0001	0.99761	0.11901	29	<0.0001
-----				-----			
Component Z $Z = Z_0 + S_{ZC} * dZ$				Factory Scale Values S _H factory = 0.9978 S _D factory = 0.9253 S _Z factory = 0.9924			
Parameter	Value	Error					

Z ₀	473.10548	3.20361					
S _{ZC}	1.00761	0.01249					

R-Square(COD)	SD	N	P				

0.99648	0.38527	25	<0.0001				

El análisis de correlación en forma gráfica viene dado en la Figura 5.

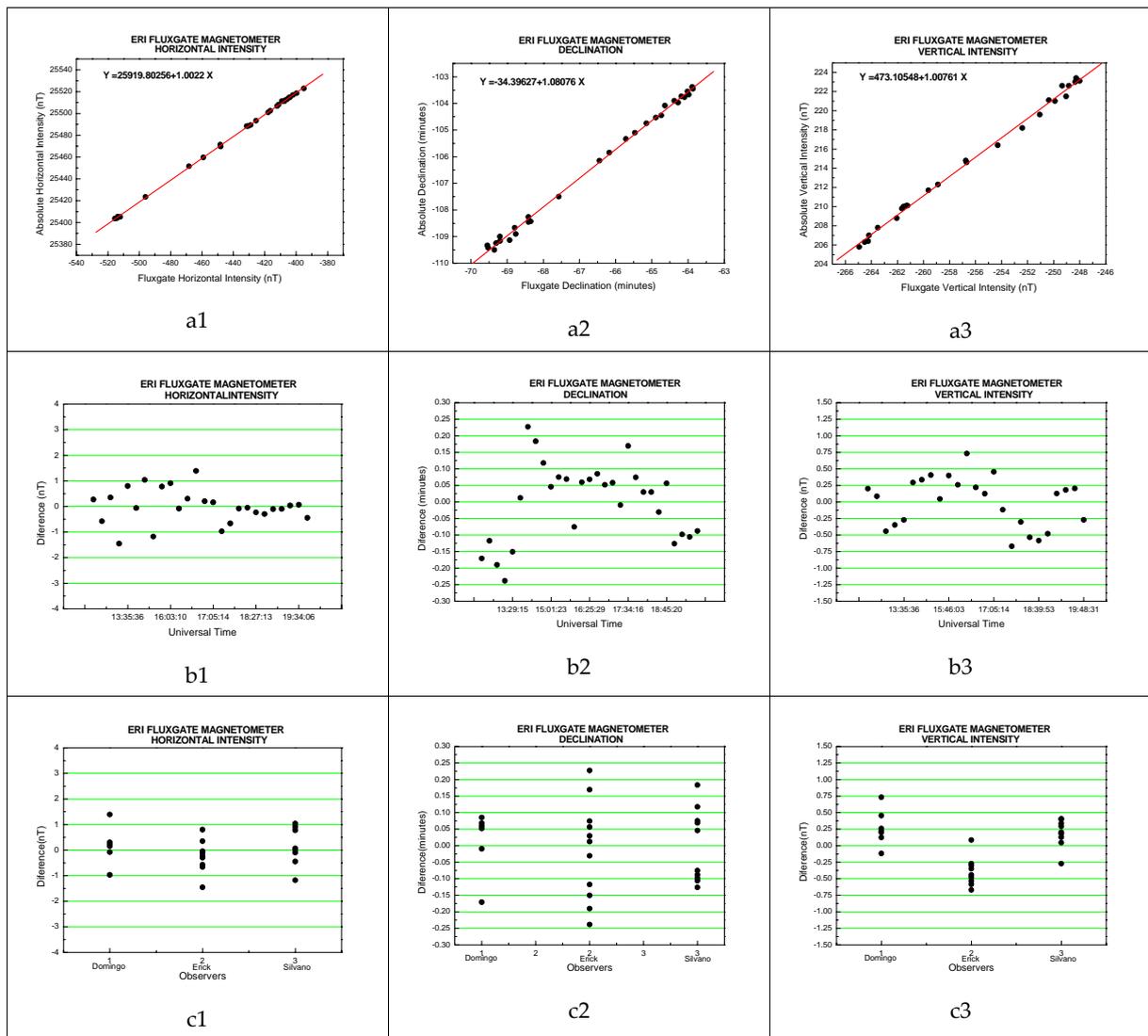


Figura 5 Análisis de correlación magnetovariografo ERI.

4.4 Magnetovariografo CCD

Magnetovariografo fotográfico del tipo Eschenhagen con sistema de registro mediante un sensor CCD. Actualmente está operando en fase de prueba. El análisis de correlación es el siguiente:

Component H				Factory Scale Values	
$H = H_0 + S_{HC} * dH$				SH factory = none	
Parameter	Value	Error			

H_0	25242.46711	2.48889			
S_{HC}	2.31868	0.02424			

R	SD	N	P		

0.99853	2.23566	29	<0.0001		

La correlación en forma gráfica es mostrado en la Figura 4.

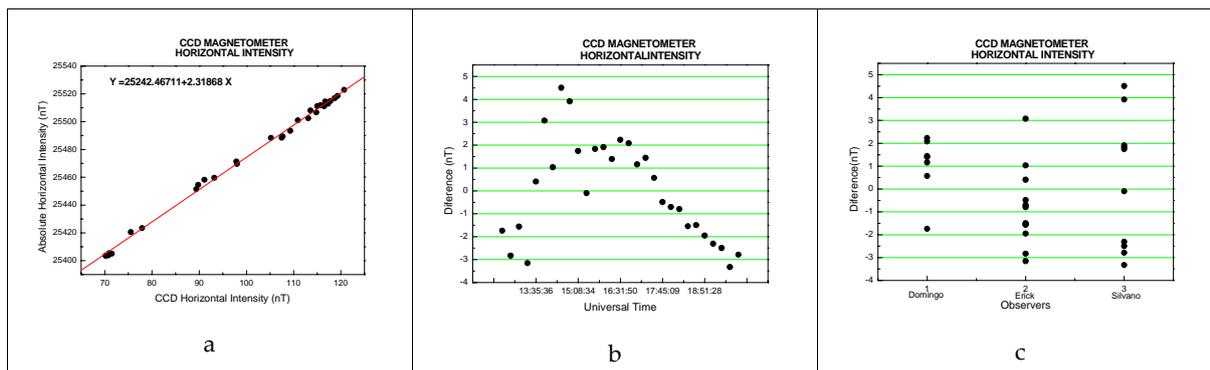


Figura 6 Análisis de correlación magnetovariografo CCD.

En la figura 6b se observa una tendencia en la diferencia, esto es porque no se ha introducido el factor de torsión que es una variable más que se debe tomar en cuenta en los magnetovariografos de imán suspendido del tipo Eschenhagen. La determinación del factor de torsión para estos tipos de instrumentos es un trabajo adicional que debe ser calculado a partir de las amplitudes de desplazamiento, producidos por inducción en las bobinas de los instrumentos. Aun sin la corrección del factor de torsión, se observa que el índice de correlación R, su desviación estándar SD, y el error estimado muestran que los datos que se producen en estos instrumentos son bastante aceptables.

4.5 Residuales

Los datos finales reducidos del magnetovariografo ERI son comparados con los datos finales del magnetovariografo principal GRL. La diferencia entre ambos magnetómetros es mostrada en la figura 7.

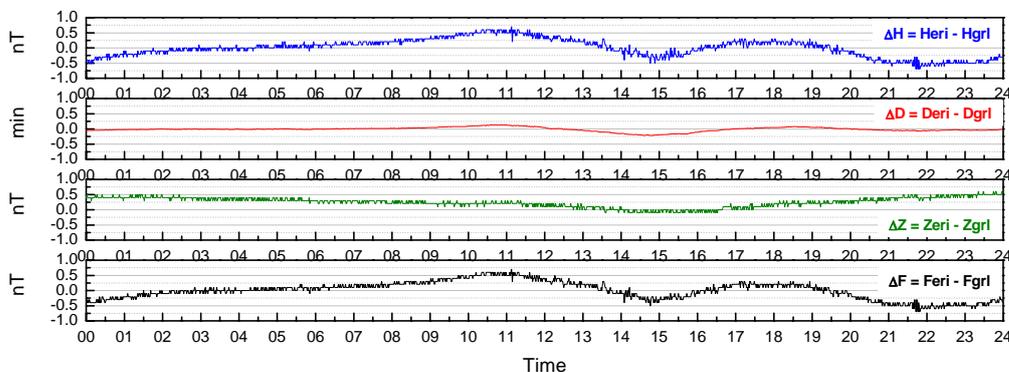


Figura 7

Las oscilaciones observadas en la Figura 7 nos muestran la linealidad del magnetómetro ERI respecto al magnetómetro GRL, observándose que ello no excede de 1.0 unidades en sus componentes. Queda descartado que dicha oscilación pueda ser por el factor térmico debido a que las temperaturas en ambos magnetómetros se han controlado, y sus variaciones durante las 24 horas de registro han mostrado una variación de los 0.02 grados centígrados en el sensor del magnetómetro ERI, el cual se encuentra enterrado a un metro de profundidad. Así mismo, el sensor del magnetómetro GRL se encuentra en un ambiente especial donde la temperatura se mantiene constante.

5 CONCLUSIONES

En Geomagnetismo los datos de variaciones del campo geomagnético son muy usados para: determinar los índices de actividad geomagnética, clima espacial, para el estudio de micro pulsaciones geomagnéticas, y para correlacionar datos entre estaciones geomagnéticas; por lo que un inadecuado valor de escala perjudica la correcta interpretación en la magnitud de un evento geomagnético, principalmente cuando se trata de análisis de datos en tiempo real.

Mediante esta técnica se ha podido determinar la precisión con el que viene operando cada instrumento, sin la necesidad de tener que recurrir a detener el registro de datos para la evaluación de cada magnetómetro. El magnetómetro GRL ha mostrado contar las mejores condiciones para ser considerado como magnetómetro fundamental; dado que posee una muy buena línea de base y valor de escala, los errores estimados nos muestran su margen de confiabilidad de dicho instrumento. El magnetómetro ERI también cuenta con una muy buena línea de base y valor de escala, pero observando los márgenes de error determinado no supera al magnetómetro GRL, lo que determina que sea el magnetómetro de respaldo. El magnetómetro CCD sólo se pudo correlacionar su componente H, las otras dos componentes no se obtuvo registro para dicho día.

El presente trabajo nos ha permitido conocer el estado de operatividad de los magnetovariografos del Observatorio Geomagnético de Huancayo, mostrando que se encuentra en óptimas condiciones.

6 RECOMENDACIONES

- El Instituto Geofísico del Perú cuenta con magnetovariografos que operan en distintos puntos del territorio, por lo que se recomienda aplicar el presente método para determinar su estado de operatividad de dichos instrumentos.
- Los magnetovariografos tienen un valor de escala de fábrica predefinidos, pero estos valores de escala varían con el tiempo por lo que es necesario verificar mínimamente —y una vez al año— si hubo cambios en su sensibilidad, y si se observa cambios en su sensibilidad. El presente método nos permite determinar cuánto ha cambiado.
- Se ha observado que algunos magnetómetros del tipo fluxgate registran elementos de ruido que no son propios del campo geomagnético por lo que el presente método también es muy eficaz para determinar si dicho ruido proviene de fuentes externas o es del mismo sistema electrónico del magnetómetro.

BIBLIOGRAFÍA

MAUS S., Macmillan S., MacLean S., Hamilton B., Thomson A., and Nair M., The US/UK World Magnetic Model for 2010-2015, NOAA Technical Report NESDIS/NGDC, 29-33, 2010.

JANKOWSKI J., and Sucksdorff C., Guide for Magnetic Measurements and Observatory Practice, International Association of Geomagnetism and Aeronomy, Boulder CO, USA, 1996. pp. 86-115.

WIENERT K., Notes on Geomagnetic Observatory and Survey Practice, UNESCO, Belgium, 1970. pp. 34-54.

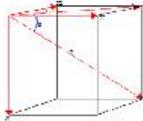
ANEXOS

Anexo 1



HUANCAYO GEOMAGNETIC OBSERVATORY

ABSOLUTE MEASUREMENT



Observation Nro.	Coordinates		
	Latitude (deg.)	Longitude (deg.)	Altitude a.s.l. (m)
1	12.037875 S	75.318367 W	3313

Instrument:

	Theodolite	D/IFlux Mag.	Total Intensity Mag.
Name & Type:	THEO 010B	MAG-01H	M-234
Manufacture:	Germany	Bartington	Barringer
Local ID/Serial No:	160325	394	60225368-0024
Unit Measurement:	Degrees / Grades	Deg $\frac{1}{100}$ nT	10uT nT

Date:	02 March 2010
Observer:	Rosales D. / Orihuela S.
Station:	HUANCAYO
Pillar/Place:	E-2
Country:	PERU

DIFLUX MEASUREMENT FORM

Declination Measurement: Horizontal Circle Readings

Target Description: To 620 m South of Absolute House

Mark Azimuth AZ			Target Mark Reading		
grades	minute gr	second gr	grades	minute gr	second gr
7	14	0	257	26	46

Sensor Up: lm_1 257 26 46
 Sensor Down: lm_2 77 26 46

Universal Time Observed			Magnetic Meridian Reading		
hh	mm	ss	grades	minute gr	second gr
12	35	16	158	24	27
12	36	4	158	24	2
12	37	5	338	24	39
12	38	5	338	23	58

Vertical Circle Display: 90°00'00"/100.0000, 270°00'00"/300.0000, 90°00'00"/100.0000

Target Mark Reading		
grades	minute gr	second gr
257	26	39
77	26	39

Sensor Up: lm_3 257 26 39
 Sensor Down: lm_4 77 26 39

Calculated magnetic meridian trace to set on horizontal circle MM: $MM = \frac{1}{4} \left[\sum_{i=1}^4 mm_i \right]$ 248 24 17
 Calculated magnetic meridian trace complement MMC: $MMC = MM + 180 (+200 \text{ grades})$ 68 24 17
 Calculated Target Mark Reading TM: $TM = \frac{1}{4} \left[\sum_{i=1}^4 lm_i + 360 (+400 \text{ grades}) \right]$ 257 26 43
 Mark Corrected MC: $MC = TM - AZ$ 250 12 43

Universal Time Adopted			Declination D		
hh	mm	ss	grades	minute gr	second gr
12	36	37	-1	48	26

$D = [MM - MC]$

Inclination Measurement: Vertical Circle Readings

Universal Time Observed			Inclination Reading			PLANE OF VERTICAL CIRCLE
hh	mm	ss	grades	minute gr	second gr	
12	40	1	359	29	57	Parallel to MM
12	40	53	179	29	35	Parallel to MM
12	42	24	180	26	28	Parallel to MMC
12	43	20	0	25	31	Parallel to MMC

Sensor Up: im_1 359 29 57
 Sensor Down: im_2 179 29 35
 Sensor Up: im_3 180 26 28
 Sensor Down: im_4 0 25 31

Universal Time Adopted			Inclination I		
hh	mm	ss	grades	minute gr	second gr
12	41	39	0	28	7

$I = \frac{1}{4} \left[\sum_{i=1,3}^4 im_i - \sum_{i=2,4}^4 im_i + 360 (+400 \text{ grades}) \right]$

PROTON MEASUREMENT FORM

point proton sensor description: To 6m to Northwest of Absolute House Gradient: -4.7 nT

Universal Time Observed			Total Intensity Observed (Fobs)		
hh	mm	ss	grades	minute gr	second gr
12	40	0	25408,3		
12	41	0	25408,6		
12	42	30	25409,2		
12	43	30	25410,1		

Sensor Up: f_1 25408,3 nT
 Sensor Down: f_2 25408,6 nT
 Sensor Up: f_3 25409,2 nT
 Sensor Down: f_4 25410,1 nT

Universal Time Adopted			Total Intensity Adopted (Fadop)		
hh	mm	ss	grades	minute gr	second gr
12	41	45	25404,3		

Fadop = Fobs + Fgrad

Geophysical Institute of Peru IGP