

INTERCOMPARACIÓN DE LOS REGISTROS DE LOS OBSERVATORIOS DE VILLA REMEDIOS Y PATACAMAYA

Ricaldi Yarvi Edgar, Miranda Loza Pedro

*Instituto de Investigaciones Físicas
Universidad Mayor de San Andrés*

RESUMEN

Los registros magnéticos del observatorio de Villa Remedios (*REM*), obtenidos con equipo digital moderno, y los registros del observatorio de Patacamaya (*PTY*), obtenidos con equipo analógico antiguo, instalados en sitios diferentes, fueron sometidos al análisis de espectros de amplitudes y frecuencias, practicados en registros de intervalos de tiempo cada vez menores, hasta aproximarnos a la frecuencia máxima de $0,0083Hz$, que es la permitida por el instrumento. Las correlaciones realizadas nos permiten estimar que el observatorio antiguo dispone de sensores (agujas magnéticas suspendidas) más sensibles que los del observatorio moderno (bobinas, que trabajan en modo *Flux Gate*). Sin embargo, cabe informar que los registros del observatorio moderno están sometidos a un rígido control y a un mínimo número de fuentes de error. La automatización del observatorio antiguo, y su puesta en funcionamiento en el mismo punto en que se encuentra localizado el observatorio moderno, permitiría resolver esta controversia.

Descriptores: geomagnetismo — procedimientos de laboratorio — registro y procesamiento de datos

ABSTRACT

The magnetic records of the observatory of Villa Remedios (*REM*), obtained from modern digital equipment, and those of the observatory of Patacamaya (*PTY*), obtained from old analogical equipment, installed in different locations were submitted to a spectral analysis of amplitudes and frequencies. The analysis involved recording ever shorter time intervals until reaching the instruments maximum frequency of $0,0083Hz$. The correlations realized indicate that the old observatory has sensors (pendent magnetic needles) that are more sensitive than those of the modern observatory (coils of the Flux Gate type). However, the records of the modern observatory are subject to rigid control and minimal sources of error. The automation of the old observatory and its functioning in the same place as the modern one would allow to solve this controversy.

Key words: geomagnetism — laboratory procedures — observation and data reduction techniques

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de inter-comparación de registros producidos por dos observatorios localizados en dos puntos distintos sobre la superficie de la tierra se lo realiza con la finalidad de calificar a uno de estos sistemas de instrumentos de medición como el más sensible. Tarea delicada, puesto que los mismos están sometidos a:

(1) La influencia de fuentes locales cercanas a uno de los puntos y lejano al otro, lo que provocaría diferencias entre sus registros.

(2) La distancia que los separa también implica diferencias debido a la estructura curvada simétrica del Campo Magnético Principal (CMP), la que puede ser considerada estacionaria para intervalos de tiempo de observación no muy grandes.

TABLA 1

Localización de los observatorios de Villa Remedios y Patacamaya.

Observatorio	Latitud(UA)	Longitud(UA)	Altura (m snm)
Villa Remedios	$-16^{\circ}46'12''$ ($-16^{\circ}, 770$)	$68^{\circ}10'12''$	3884
Patacamaya	$-17^{\circ}15'57''$ ($-17^{\circ}, 258$)	$67^{\circ}57'07''$	3789
Diferencia (UA)	$00^{\circ}29'45''$	$00^{\circ}13'05''$	95
Diferencia (Km)	53	24	

Distancia de separación en línea recta: 58 Km.

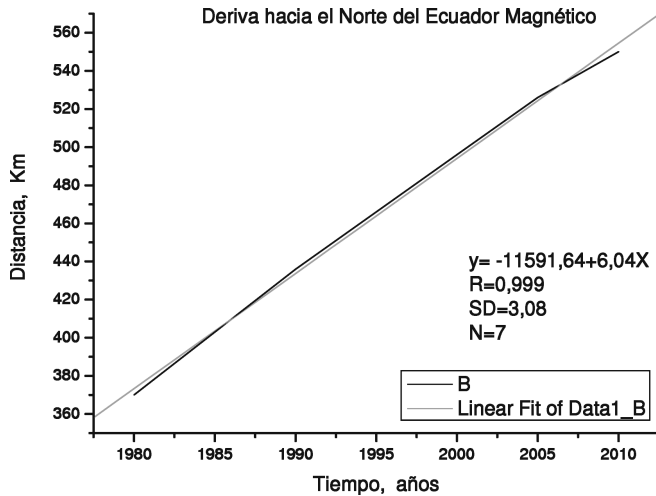


Figura 1. Deriva hacia el norte del Ecuador Magnético.

(3) Las variaciones temporales registradas por ambas estaciones tendrían que ser semejantes debido a que la distancia de separación entre ambas no es demasiado grande en dimensiones geográficas.

(4) Finalmente, habrían diferencias en los registros debido a las características particulares de principios de construcción de cada uno de los instrumentos que se están utilizando en cada estación y los procedimientos de procesamiento de la información.

2. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES REGISTRADORAS

De la tabla 1 se infiere que el Observatorio de Patacamaya se encuentra localizada a:

58 Km al suroeste de Villa Remedios,

53 Km al sur de Villa Remedios.

24 Km al oeste de Villa Remedios.

En términos geográficos, las posiciones de ambos observatorios son fijas, pero en términos de coordenadas magnéticas no. En los últimos tiempos

se ha verificado una deriva del Ecuador Magnético hacia el Norte (ver Fig.1), que también determina una variación de los valores registrados tanto del Campo Magnético Principal (CMP) como de las Fuentes Locales (FL) en función del tiempo.

Por esta razón, el análisis de datos de esta intercomparación se realiza para registros correspondientes a un intervalo de tiempo pequeño, un año (el 2003-2004), para ser considerados estacionarios.

3. INSTRUMENTOS INSTALADOS EN CADA OBSERVATORIO

3.1. El Observatorio de Patacamaya

Corresponde a un arreglo óptico-mecánico (Variógrafos La Cour). Los sensores actúan a manera de galvanómetros: se trata de agujas magnéticas suspendidas por hilos de oro, cobre o bronce de bajo coeficiente de torsión a las cuales se les ha adherido unos espejos de 0,5cm de lado, sobre las que se reflejan los rayos de luz provenientes de una fuente localizada en una posición fija a una cierta distancia. La luz reflejada es dirigida a un área horizontal del registrador óptico, también dispuesto en una posición fija a una distancia adecuada de los sensores. Conforme la posición de las agujas imantadas cambia debido a las variaciones del campo magnético de la tierra, el rayo de luz reflejada por el espejo se mueve en uno y otro sentido sobre el área horizontal asignado, incidiendo en el papel fotográfico asentado sobre el tambor del registrador que gira con una velocidad constante (1,5cm/h). De esta manera, los rayos de luz que inciden sobre el papel fotográfico producen las trazas que corresponden a cada una de las componentes del campo magnético de la tierra, H , D y Z , y en nuestro caso éstas están acompañadas de las trazas de la variación de la temperatura del ambiente de registro y del tiempo (la hora), producto que recibe el nombre de Magnetograma (diario).

TABLA 2

Resultados experimentales y estimaciones de las diferencias de los valores de campo magnético por efecto de la distancia de separación de los observatorios de Patacamaya y Villa Remedios.

Componente	Experimental (nT)	modelo DEG (nT)	modelo IGRF (nT)
F_{PTY}		24122,00	23805,83
F_{REM}		23982,98	23896,78
ΔF	82,9	139,00	90,95
H_{PTY}		20486,28	23428,23
H_{REM}		20540,62	23584,68
ΔH	142,6	54,34	156,45

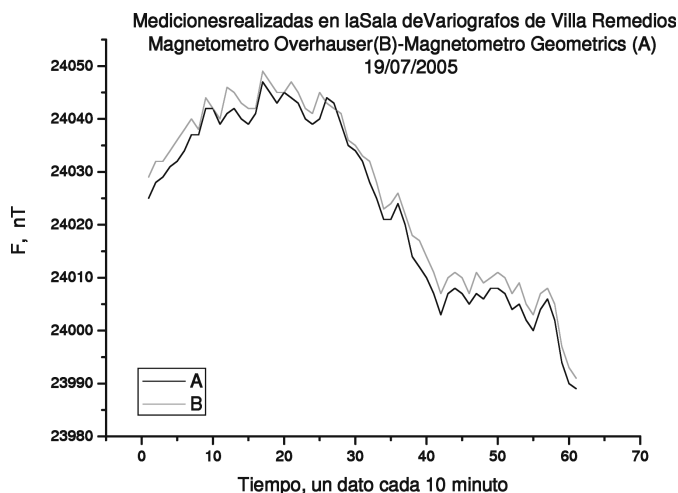


Figura 2. Registros de F de los magnetómetros *Geometrics* y *Overhauser* en un mismo punto, Villa Remedios.

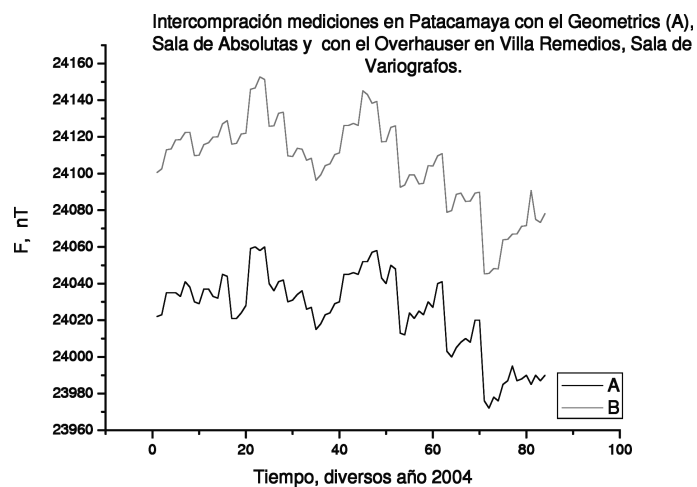


Figura 4. Registros de F de los magnetómetros *Geometrics* en Patacamaya y *Overhauser* en Villa Remedios.

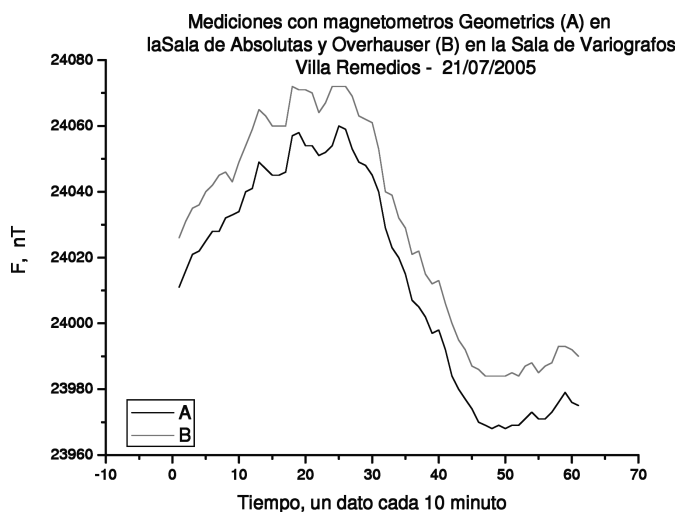


Figura 3. Registros de F de los magnetómetros *Geometrics* y *Overhauser* instalados en distintos puntos de Villa Remedios.

Los magnetogramas son procesados fotográficamente, revelados, fijados y secados. Luego son pro-

cesados con ayuda de tableros de digitización para producir los correspondientes archivos numéricos brutos, los que a continuación son corregidos hasta producir los archivos numéricos de datos calificados ya útiles para su utilización en trabajos de ingeniería e investigación.

Los datos en este caso están sujetos a varias fuentes de error:

- Variación de la temperatura del recinto de registro.
- Calidad del reloj mecánico que controla el movimiento rotacional del tambor de registro a velocidad constante.
- Calidad del reloj de control del tiempo de los magnetogramas.
- Calidad de definición de la línea de traza en el magnetograma.
- Calidad del proceso de corrección de los niveles de referencia por el personal técnico.
- Calidad del proceso de digitización por el personal técnico.

— Calidad de las etapas de control de los procesos.

3.2. Observatorio de Villa Remedios

Corresponde a un arreglo sofisticado de sensores de carácter electrónico. Se trata de bobinas que trabajan a modo *Flux Gate*, modelo FGE, construido por la *Danish Meteorological Institute*, de tres componentes, X , Y , Z y F , proveniente de un magnetómetro fijo *Overhauser*. Se calcula H y acompañan los registros del tiempo obtenidos con un GPS. Los datos son registrados por un adquirente de datos (*Data Logger*) FLARE plus de la *British Geological Survey*. Los registros de este observatorio parecen totalmente controlados, por tanto, son rígidos y están sujetos a un mínimo de fuentes de error, siendo la más significativa la variación de la temperatura del recinto de registro.

4. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Se refiere a la estrategia de estudio de los registros de ambos observatorios en consideración, el de Patacamaya y el de Villa Remedios, que nos permita discernir cual de los dos es más sensible.

Como los registros son la intensidad del campo magnético en función del tiempo (serie temporal), el estudio de los mismos podrá ser abordado después de resolver los siguientes problemas:

- (1) Efecto de la Distancia de Separación espacial (EDS) de los observatorios, que luego de haber sido resuelto permite el análisis de los eventos periódicos del campo magnético terrestre, asumiendo la hipótesis de que ambos observatorios se encuentran localizados en el mismo punto. El que pueda observar un mayor número de las más altas frecuencias (menores periodos) es tomado como el más sensible.
- (2) El contenido espectral (CSR) de ambos observatorios es uno de los principales objetivos de este trabajo. El espectro de frecuencias general del comportamiento del campo magnético de la tierra es bastante amplio. Con la finalidad de viabilizar la estrategia adoptada, inicialmente se limita la extensión de los registros a un periodo de un año, una frecuencia de $3 \times 10^{-9} Hz$, con la finalidad de evitar la consideración de cambios notables del Campo Magnético Principal (CMP), como los fenómenos de Deriva hacia el Norte del Ecuador Magnético (DNEM),

Deriva hacia el Oeste de los Campos No Dipolares (DOCND), y la Variación Secular (VS). El Campo Magnético Principal resultante, en estas condiciones, puede ser considerado estacionario y puede servir como nivel de referencia.

El límite superior es la frecuencia de Nyquist, en nuestro caso de un valor igual a $0,0083 Hz$, que corresponde a un periodo de 2 minutos, puesto que ambos observatorios sintetizan un dato por minuto.

Como interesan las altas frecuencias, para simplificar el trabajo se toman muestras aun más pequeñas, de 6 días, representativas de cada estación del año. Esto nos permite inspeccionar frecuencias en el rango de $10^{-5} Hz$ (1 día) a $0,0083 Hz$ (2 minutos).

- (3) El nivel de correlación entre los registros de Patacamaya y Villa Remedios, del cual esperamos recibir alguna información adicional.
- (4) Estudio de Registros Residuales (RR). Es un proceso similar al de la aplicación de filtros de paso alto o paso de altas frecuencias. Consiste en la construcción de Registros Residuales como resultado de sustraer a cada registro su correspondiente Registro Promedio.

Estos Registros Residuales son recortados en intervalos de tiempo iguales a la mitad del inicial, a partir de los cuales se construye su promedio. De la resta de este promedio a los recortes se originan nuevos registros residuales los mismos que a su vez son recortados en intervalos de tiempo iguales a la mitad de los últimos. Se construye su promedio móvil, se calculan sus respectivos registros residuales, y así sucesivamente. Los intervalos de inspección son: 6 días, 1 día, 12 horas, 6 horas, 3 horas, 1 hora, 30 minutos, 45 minutos y 22 minutos.

Si definimos $v(t)$ como la serie de valores experimentales, $w(t)$ como la serie de valores que definen una variación regular dentro de cierto período de tiempo T , y $g(t)$ como el residuo de la resta de los valores experimentales y la variación regular, tenemos:

$$g(t) = v(t) - w(t). \quad (1)$$

La variación regular en primera instancia puede ser aproximada tomando el promedio de varios, N , recortes del gran registro, de igual periodo T , garantizando que haya continuidad entre ellos, el que

TABLA 3

Contenido espectral de los registros.

Debajo de fecha se tiene el siguiente formato: mes—día inicial (dos dígitos)-día final (dos dígitos).

Estación	Fecha	Periodo							
		2,3 día	1 día	18 horas	12 horas	8 horas	6 horas	4 horas	3 horas
PTY	02-0106	*	*	*	*	*	*	*	*
	05-1722	*	*	*	*	*	*	*	*
	07-0510	*	*	*	*	*	*	*	—
	11-1318	—	*	—	*	*	*	*	—
REM	02-0106	*	*	*	*	*	—	—	—
	05-1722	*	*	—	*	—	*	—	—
	07-0510	*	*	—	*	*	*	—	—
	11-1318	—	*	—	*	*	*	*	—

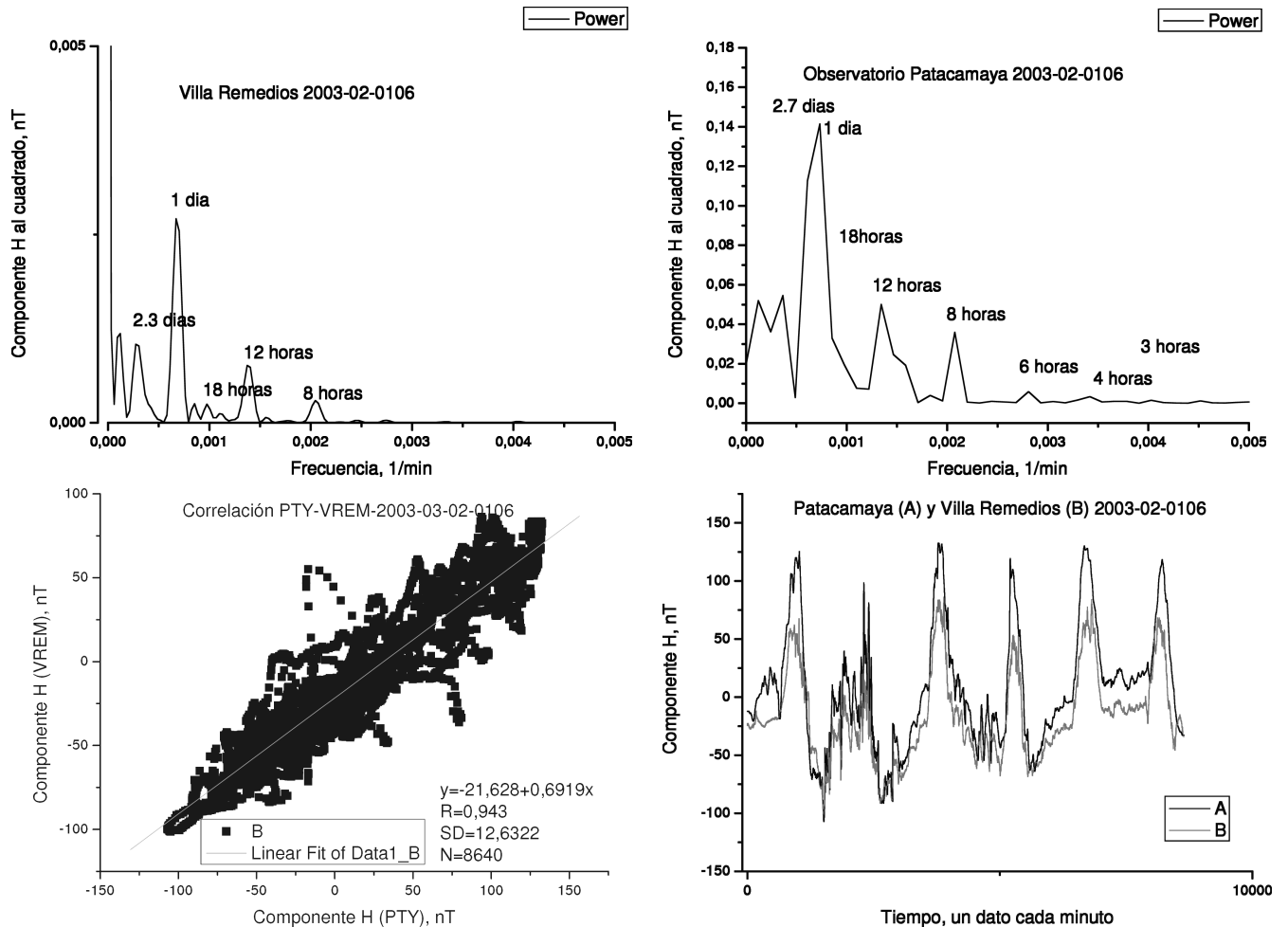


Figura 5.

se puede calcular por la siguiente fórmula:

$$\bar{v}(t) = \frac{v(t + (n + 1)T)}{N} \quad (2)$$

Cuanto más grande sea N , la variación regular

queda determinada con menor error.

Entonces podemos utilizar la fórmula

$$g(t) = v(t) - \bar{v}(t). \quad (3)$$

TABLA 4

Resultados de la correlación entre los registros de *PTY* (*X*) y *REM* (*Y*).
 Debajo de fecha se tiene el siguiente formato: mes—día inicial (dos dígitos)-día final (dos dígitos).

Año	Fecha	Ecuación	Coefficiente
2003	02-0106	$Y = -21,628 + 0,680 X$	0,948
	05-1722	$Y = -50,000 + 0,724 X$	0,976
	07-0510	$Y = -17,520 + 0,650 X$	0,976
	11-1318	$Y = -80,850 + 0,660 X$	0,916

Pendiente promedio: 34°

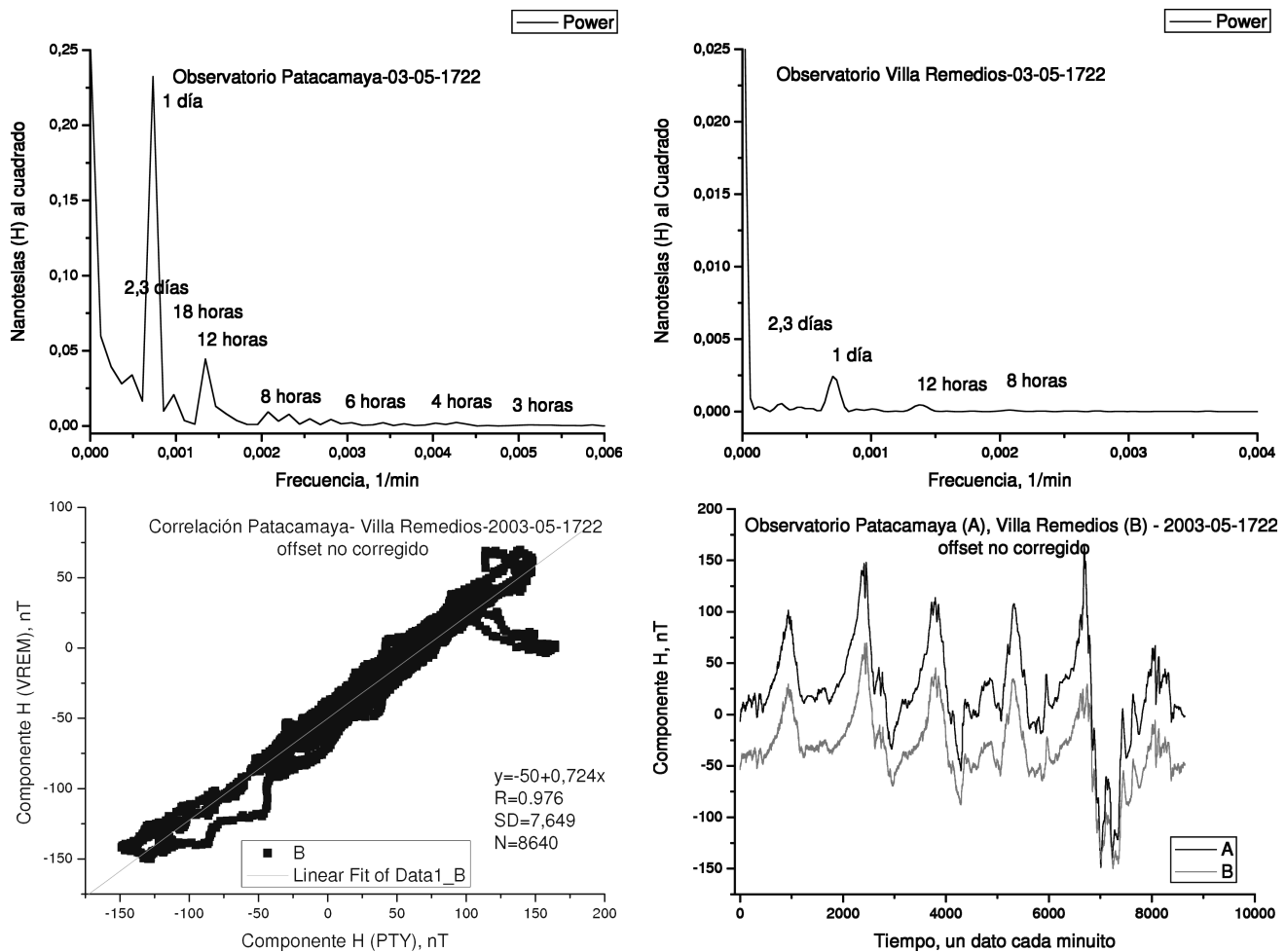


Figura 6.

Luego tomamos $v(t) = g(t)$ y repetimos el procedimiento, pero esta vez para un periodo menor de nuestro interés. Ésto resulta en un procedimiento de filtración de frecuencias bajas para ir a inspeccionar frecuencias cada vez más altas.

El estudio de los valores promedios de los datos de estos intervalos de tiempo nos proporciona

información de sus espectros de amplitudes, rangos de amplitud, como de su espectro de frecuencias, las frecuencias correspondientes a estos intervalos de tiempo.

La inter-comparación de estos valores nos proporciona nuevos criterios para la calificación de uno de los observatorios como el más sensible.

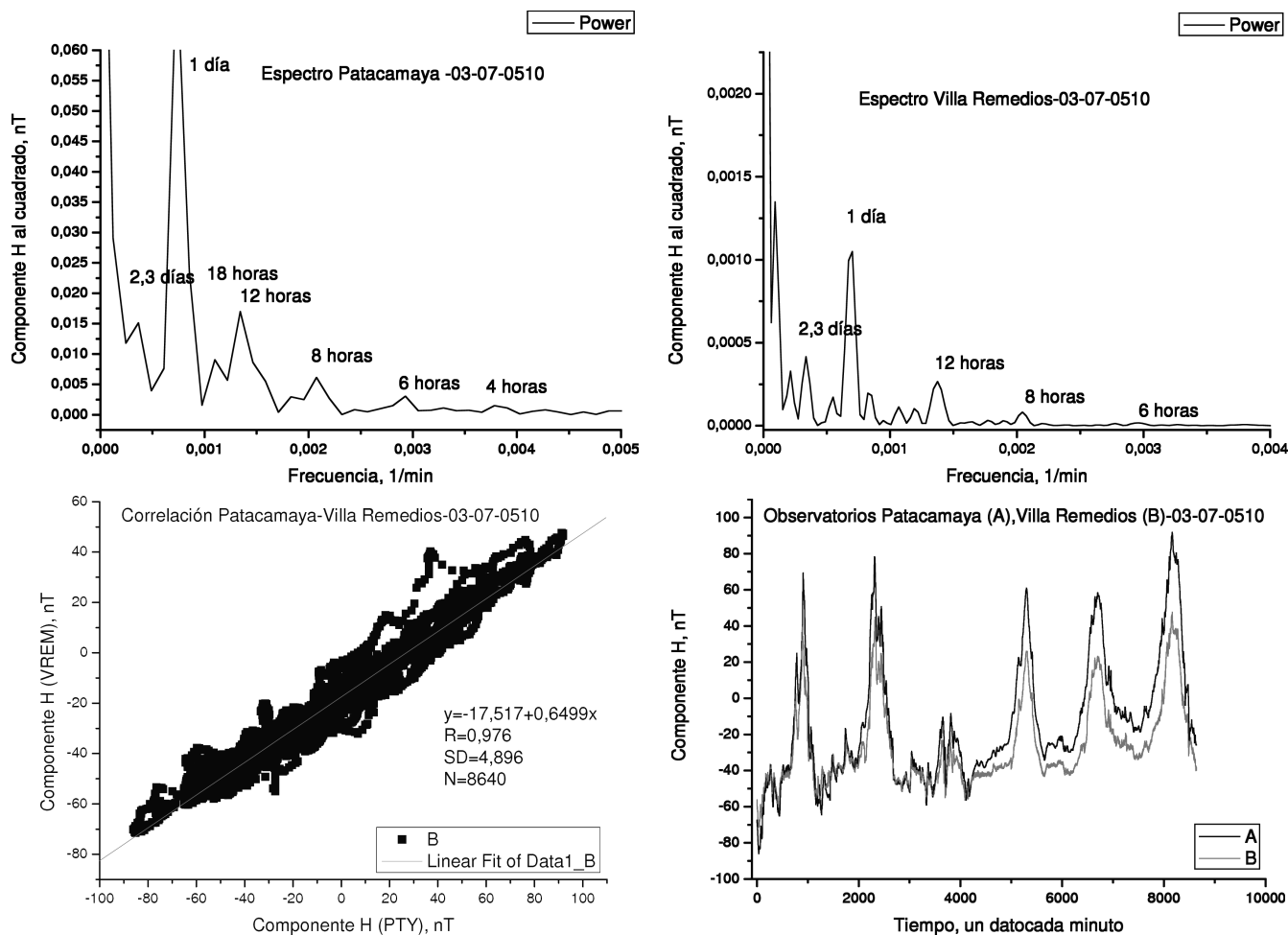


Figura 7.

5. EFECTO DE LA DISTANCIA DE SEPARACIÓN DE LOS OBSERVATORIOS EN LOS VALORES DEL CAMPO MAGNÉTICO

Para analizar este efecto se realizaron mediciones de inter-comparación con dos Magnetómetros de Protones (MP), uno un *Geometrics* móvil y el otro un *Overhauser* fijo. Se midió el valor absoluto de la intensidad del campo total, F .

(A) Las mediciones realizadas simultáneamente con los magnetómetros de protones, el *Geometrics* y el *Overhauser*, ambos localizados en la misma Sala de Variógrafos del Observatorio de Villa Remedios, produjo los resultados de la Fig. 2. Los registros medidos permitieron determinar que ambos magnetómetros producen datos similares con una diferencia de $(2,6 \pm 0,6) nT$, que se constituye en error sistemático de un instrumento respecto del otro. Consideramos al *Overhauser* como el de referencia debido a su juventud y mayor calidad tecnológica.

(B) Cuando el *Geometrics* fue instalado en la Sa-

la de Valores Absolutos y el *Overhauser* en la sala de variógrafos del mismo Observatorio de Villa Remedios, éstos permitieron la producción de los resultados de la Fig. 3. Este registro permite observar un trabajo similar de ambos instrumentos, produciendo una diferencia de $(14,8 \pm 0,8) nT$, debido fundamentalmente a la distancia de separación de las salas en consideración.

(C) Finalmente el magnetómetro *Geometrics* fue instalado en la Sala de Valores Absolutos del Observatorio de Patacamaya y el magnetómetro *Overhauser* se mantuvo en la Sala de Variógrafos del Observatorio de Villa Remedios. Los registros arrojaron los resultados de la Fig. 4. De la que se pudo determinar una diferencia de $81,3 nT$ y un error mayor, que consideramos ocasionado por fuentes locales, con registros de mayor valor para el observatorio de Villa Remedios.

Corrigiendo distancias entre las Salas de Valores Absolutos y las Salas de Variógrafos de ambos observatorios, finalmente tenemos una diferencia promedio de $\Delta F = 82,9 nT$ entre ambos

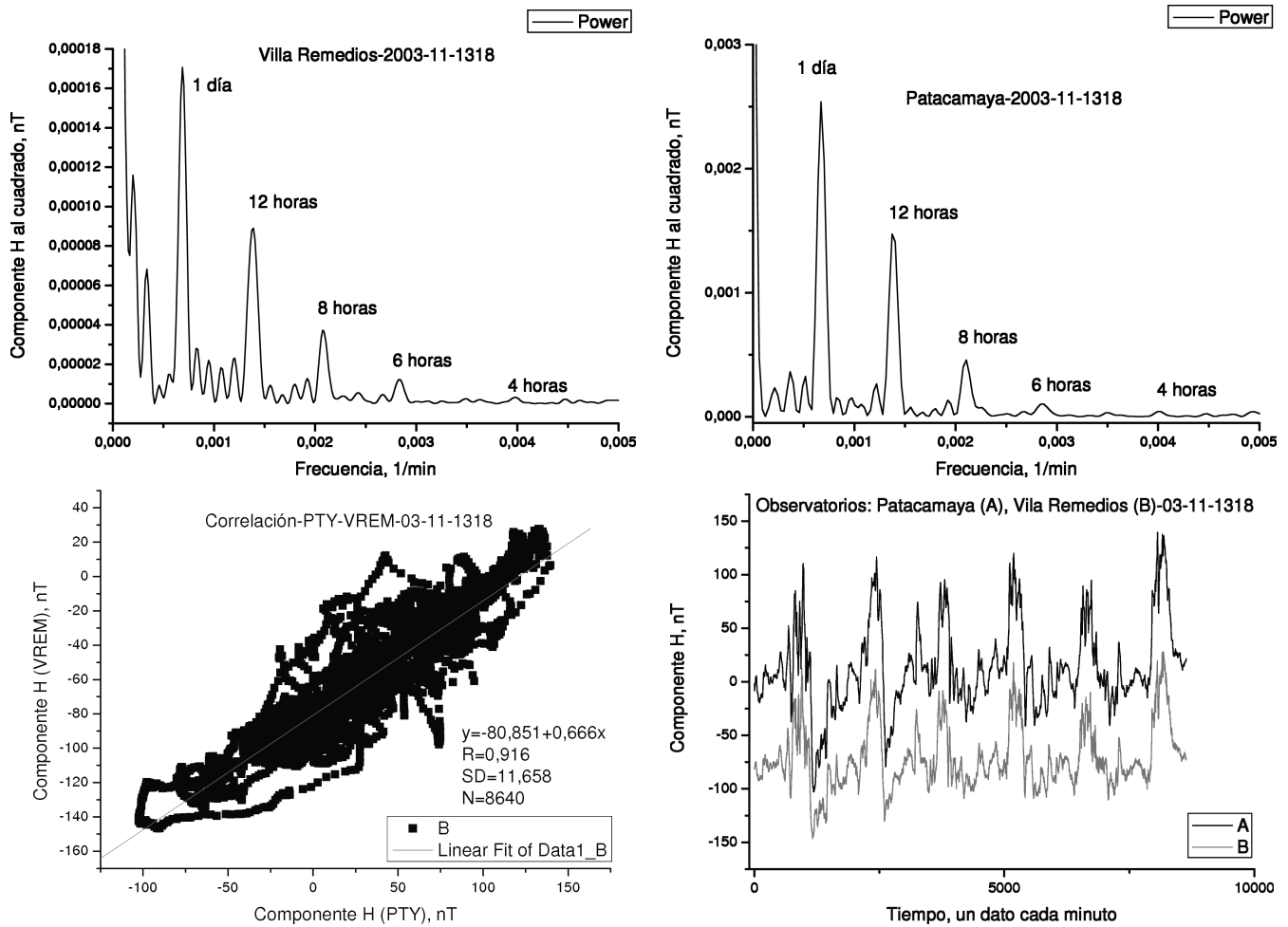


Figura 8.

observatorios.

Como es la componente H la que a continuación es objeto de estudio, por ser la más sensible a las variaciones del campo magnético a estas latitudes, para ésta se determinó una diferencia $\Delta H = 142,6 \text{ nT}$.

Estos valores inicialmente fueron estimados utilizando modelos que aproximan el Campo Magnético Principal (CMP) de la tierra, cuyos resultados se muestran en la tabla 2. Los valores experimentales se refieren a los encontrados en el trabajo de intercomparación realizado con los magnetómetros *Geometrics* y *Overhauser*, indicado líneas arriba.

El modelo **Dipolo Axial Geocéntrico** (DEG), que es uno de los más sencillos, fue aplicado considerando los siguientes valores:

—Momento Dipolar Magnético de la tierra para el año 2005, $M = 5,5477 \times 10^{15} \text{ Tm}^3$.

—Radio de la tierra, $r_e = 6371 \times 10^3 \text{ m}$, y

—Latitudes geográficas, $\lambda_{REM} = 16,7700$, para Villa Remedios, y $\lambda_{PTY} = 17,2658$, para

Patacamaya.

Las componentes del campo magnético de la tierra fueron calculadas aplicando las siguientes fórmulas:

$$H = \frac{M}{r_e^3} \cos \lambda,$$

$$Z = \frac{2M}{r_e^3} \sin \lambda,$$

$$F = \frac{M}{r_e^3} \sqrt{1 + 3 \sin^2 \lambda}. \quad (4)$$

El modelo **IGRF** (*Internacional Geomagnetic Reference Field*), o de *Campo Magnético de Referencia Internacional (CMRI)*, permite el ajuste del campo magnético de la tierra a nivel superficie por Armónicos Esféricos (AE). Los cálculos fueron realizados por el *National Geophysical Data Center* de Boulder, Colorado, Estados Unidos de Norte América.

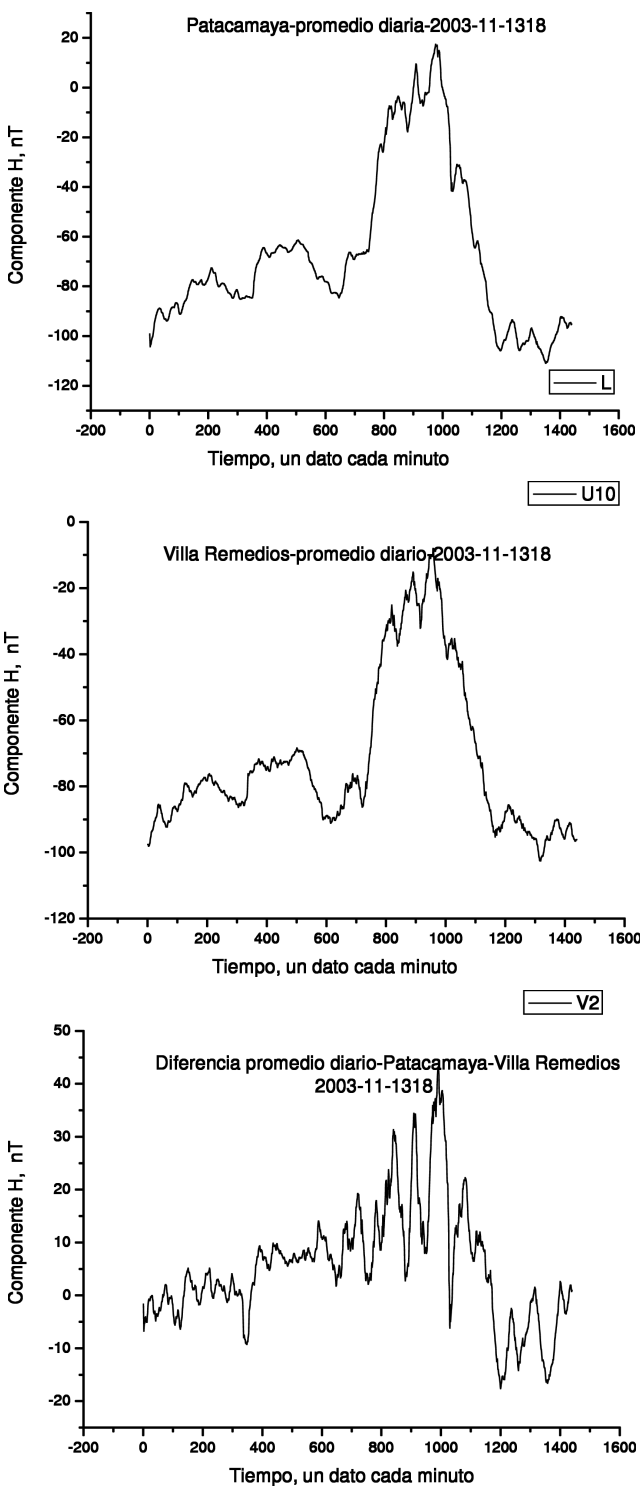


Figura 9.

El potencial sobre la superficie de la tierra es la suma de los potenciales que se producen debido a fuentes situadas al interior de la tierra, V_i , y el potencial debido a fuentes situadas fuera de la superficie de la tierra, V_e . En la superficie de la tierra el campo producido por las fuentes externas es muchísimo más pequeño que el de las fuentes internas, y por lo general es excluido. El potencial de las fuentes internas es calculado por la expresión matemática:

$$V_i = a \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} P_n^m(\cos \theta) [g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda] \quad (5)$$

Solución que está dada en coordenadas esféricas r, θ, λ , donde r es el radio aquí, desde el centro de la tierra, θ es la colatitud medida desde el polo norte y λ es la longitud medida hacia el este a partir del meridiano de Greenwich. $P_n^m(\cos \theta)$ son las funciones de Legendre asociadas normalizadas. g_n^m y h_n^m son los coeficientes armónicos esféricos de Gauss que describen el campo en los puntos (r, θ, λ) .

Las componentes del vector campo magnético están definidas como:

$$X = \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta},$$

$$Y = -\frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial V}{\partial \lambda},$$

$$Z = \frac{\partial V}{\partial r}. \quad (6)$$

Como se puede observar en la tabla 2, los resultados del modelo CMRI son los que más se aproximan a los valores experimentales.

Sumando estos valores experimentales a los datos de Patacamaya, es como si ambos sistemas de instrumentos estuvieran instalados en Villa Remedios, y a la inversa, restando estos valores a los datos de Villa Remedios, es como si ambos sistemas estuvieran instalados en Patacamaya.

Esta diferencia entre valores de ambos observatorios puede ser considerada como un error sistemático debido solamente al hecho de que ambos sistemas de medición están separados por una determinada distancia. Sin embargo, las diferencias de los registros pueden surgir de fuentes locales de campo magnético y de la naturaleza de los sistemas de instrumentos de medición.

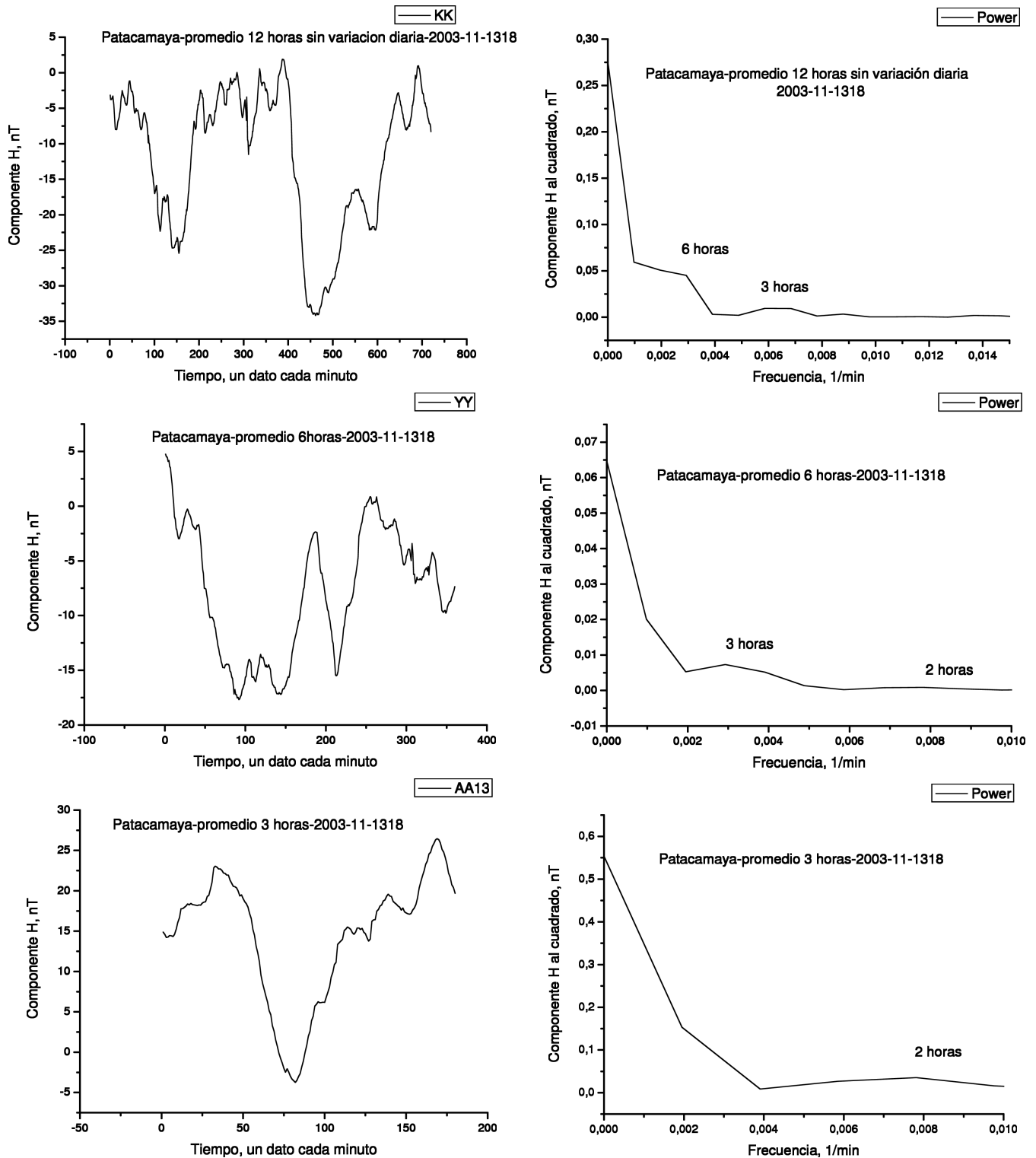


Figura 10.

6. CONTENIDO ESPECTRAL Y CORRELACIÓN DE LOS REGISTROS DE PATACAMAYA Y VILLA REMEDIOS

Con la finalidad del análisis de los aspectos de esta sección, se utilizan los registros correspondientes a la componente horizontal, H , de los meses de

Febrero (Verano), Mayo (otoño), Julio (Invierno) y Noviembre (Primavera), representativas de los registros del año 2003, debido a que ésta es la más sensible a las variaciones de campo magnético a estas latitudes terrestres.

Antes de su utilización, los registros de ambos

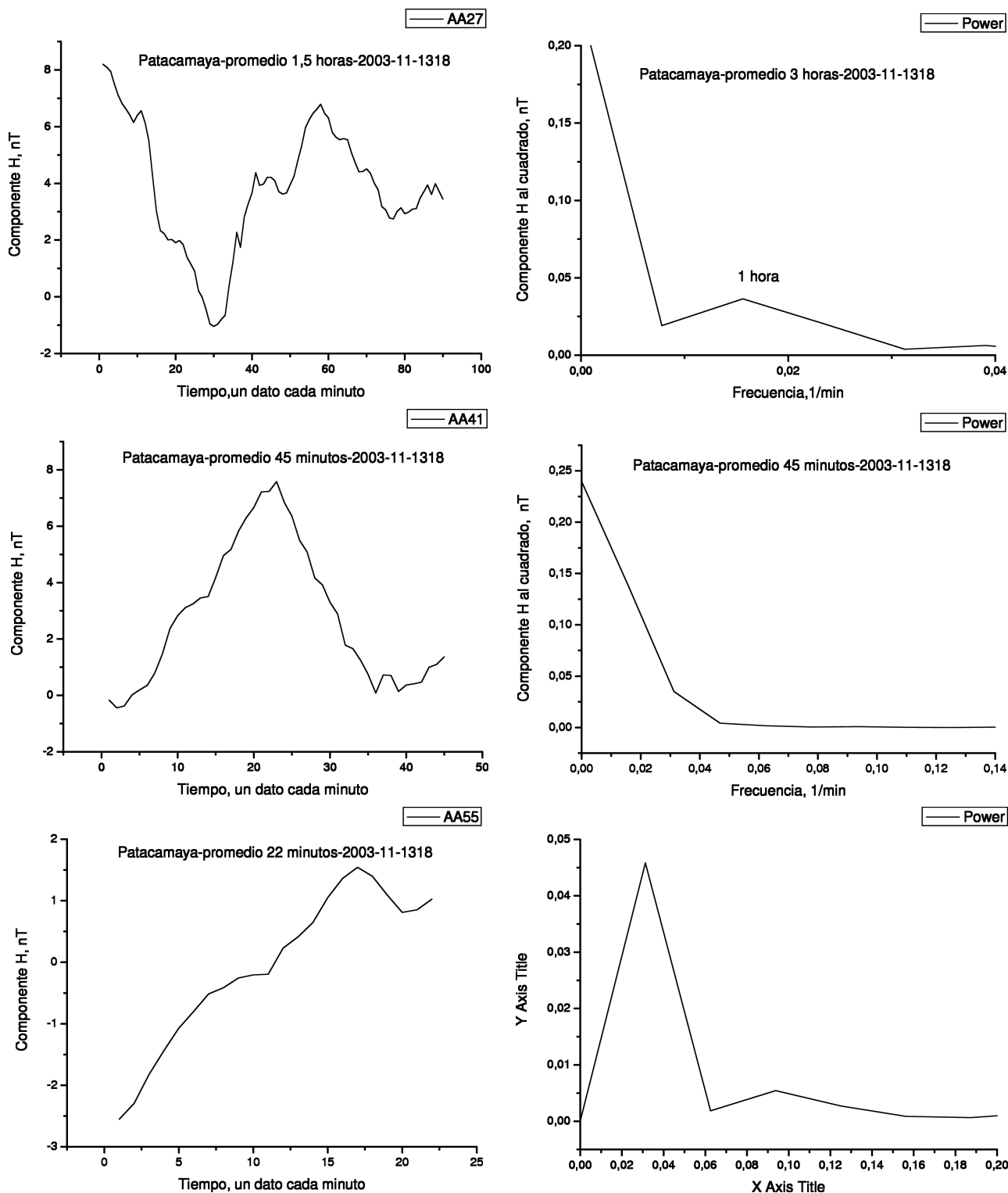


Figura 11.

observatorios fueron sometidos a un proceso de cambio de representación numérica digital —del binario al ASCII—, control de la línea base, control del tiempo, continuidad de los registros y eliminación de macro variaciones no periódicas (tormentas magnéticas, principalmente). En las figuras

5—8 se presentan gráficas que muestran los resultados de los procedimientos realizados.

De la tabla 3 se puede inferir que el Observatorio de Patacamaya es el que observa un mayor número de eventos de frecuencias altas (periodos menores), que acompañan al campo magnético de

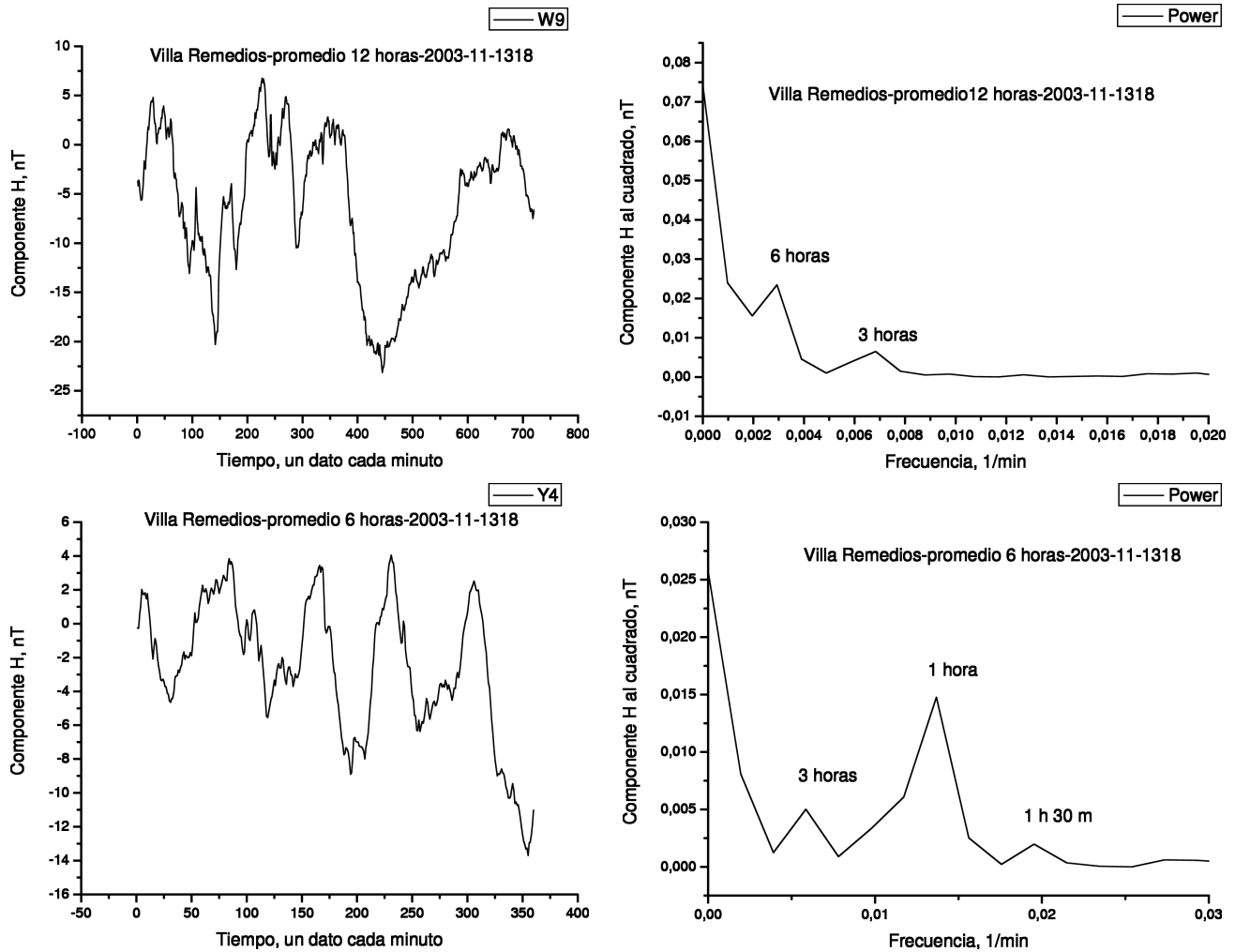


Figura 12.

la tierra, resultando en acuerdo con la hipótesis adoptada de que es más sensible que el Observatorio de Villa Remedios.

En lo que se refiere a la correlación de los registros de Patacamaya y Villa Remedios, los resultados correspondientes se muestran en la tabla 4. En este caso, las rectas de correlación tienen una mayor tendencia hacia los valores de Patacamaya, es decir estos influyen más en este proceso de correlación, comportamiento que también indica una mayor sensibilidad del sistema de instrumentos de medición de Patacamaya respecto de las variaciones del campo magnético de la tierra.

El sistema de instrumentos de medición de Villa Remedios puede ser considerado más rígido en su disposición, funcionamiento y de un mayor control de sus partes, lo que provoca una mayor inercia de reacción de sus sensores frente a los cambios del campo magnético terrestre.

7. ESPECTROS DE AMPLITUDES Y FRECUENCIAS DE LOS REGISTROS RESIDUALES

En la figura 9 se muestran gráficas del trabajo realizado a este respecto. Detalles de los registros de Patacamaya se muestran en las figuras 10 y 11, mientras que los correspondientes a los registros de Villa Remedios en las figuras 12 y 13. Por otra parte, en la tabla 5 se muestran resultados de los espectros de amplitudes y frecuencias de estos observatorios.

De manera general se observa que los registros del Observatorio de Patacamaya reaccionan más fácilmente a los cambios del campo magnético de la tierra proporcionando valores mayores en amplitud que los registros de Villa Remedios.

El Análisis espectral practicado a los registros residuales confirma nuevamente que los registros de Patacamaya tienen un mayor contenido espectral que los de Villa Remedios. Además, hay que aclarar que los registros residuales contienen eventos magnéticos de corta duración y de carácter no periódico.

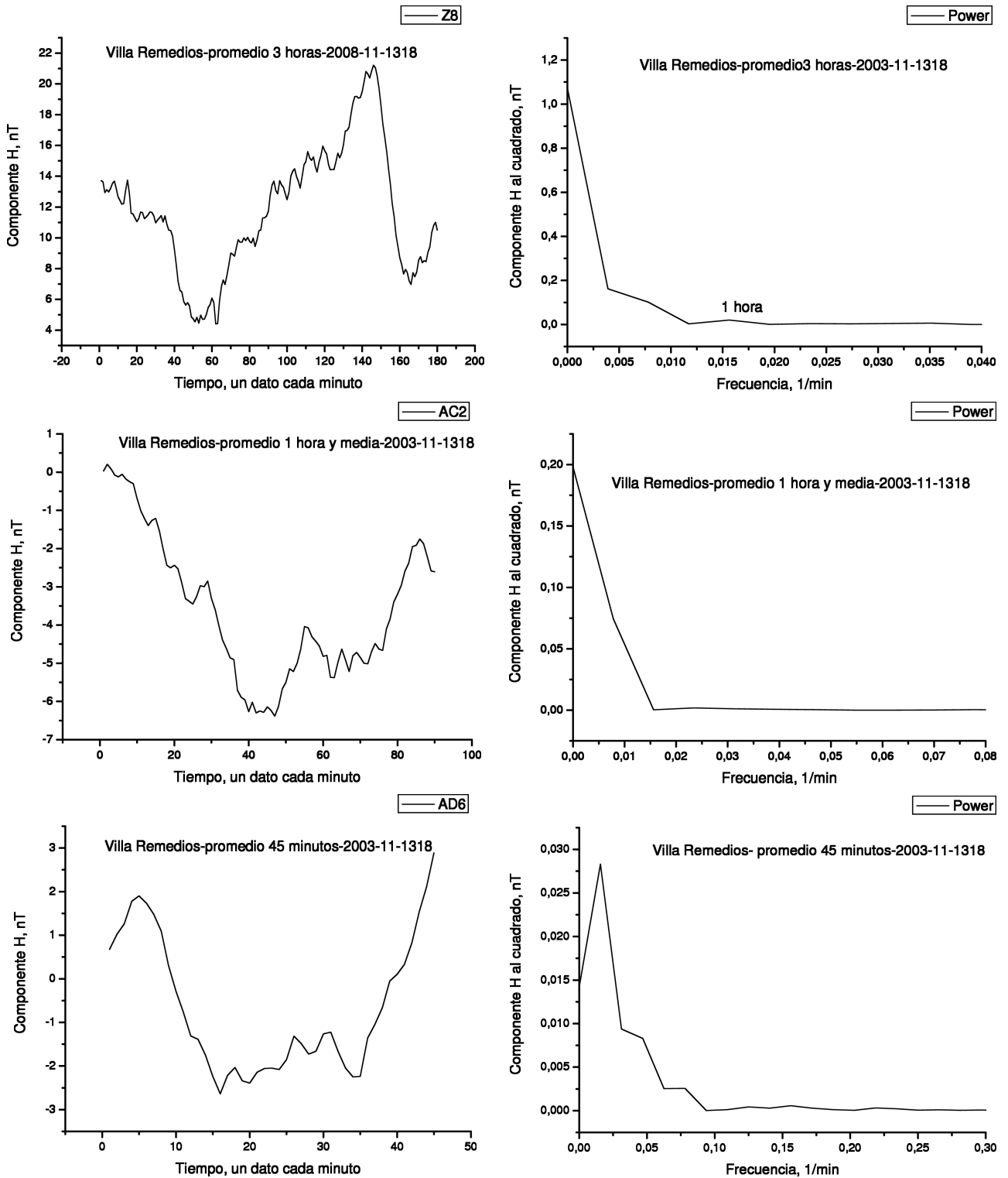


Figura 13.

8. CONCLUSIONES GENERALES

1.- El efecto de la distancia de separación entre observatorios produce una diferencia promedio de $83 nT$ para el campo magnético total, F , y de $142,6 nT$ entre las componentes horizontales, H , de los observatorios de Villa Remedios y Pataca-

maya. El error entre ellos corresponde claramente a factores locales, quizás en menor proporción a diferencias instrumentales.

2.- El contenido espectral de los registros de Patacamaya es mayor que el de Villa Remedios. Las frecuencias denominadas armónicas junto a las

TABLA 5

Resultados de los espectros de amplitudes y frecuencias de los observatorios de Patacamaya y Villa Remedios.

Intervalo de tiempo del registro promedio (<i>horas</i>)	Amplitudes		Diferencia		Periodos en intervalo					
	<i>PTY</i>	<i>REM</i>	ΔA		<i>PTY</i>			<i>REM</i>		
	<i>nT</i>	<i>nT</i>	<i>nT</i>	%	<i>horas</i>			<i>horas</i>		
24 <i>h</i>	100	90	10	10	12	6	3	12	6	3
12 <i>h</i>	25	17	8	30	6	3	—	6	3	—
6 <i>h</i>	15	12	3	20	3	2	—	3	1	—
3 <i>h</i>	20	15	5	25	2	—	—	1	—	—
1 <i>h</i> 30 <i>min</i>	7	5	2	28	1	—	—	—	—	—
45 <i>min</i>	8	4	4	50	—	—	—	—	—	—
22 <i>min</i>	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—

consideradas físicamente consistentes pueden ser puestas en discusión.

3.- La correlación entre ambas series de tiempo es en promedio del orden del 96 %, lo que indica una muy buena similitud en el funcionamiento de ambos observatorios.

4.- Corregidos los niveles de Campo Magnético Principal, como vimos, los de Villa Remedios son mayores que los de Patacamaya. La pendiente de la línea de correlación se inclina a favor de los valores de Patacamaya, lo que eventualmente, de acuerdo a hipótesis consideradas, confirma una mayor sensibilidad de los sensores de Patacamaya a las variaciones del campo magnético de la tierra, comparados con los sensores de Villa Remedios.

5.- Los espectros de amplitudes y frecuencias de los Registros Residuales (RR) correspondientes a intervalos de tiempo submúltiplos de un día definen un mayor rango de amplitudes y un mayor número de altas frecuencias en favor de Patacamaya que de Villa Remedios.

6.- Además, se percibe la presencia de:

—Anomalías no periódicas en el rango de amplitudes correspondientes a eventos periódicos de los intervalos de tiempo más pequeños (en horas del día y de la noche).

—Anomalías periódicas sólo durante intervalos de tiempo menores que ciertos intervalos de tiempo de observación. (más frecuentes en horas del día, es decir, durante el tiempo de funcionamiento de la dínamo ionosférica).

7.- No obstante de haber impuesto la hipótesis de la inexistencia de fuentes locales de campo magnético, es necesario reconocer su presencia, posiblemente esto explique en gran medida las di-

ferencias entre los registros de Patacamaya y Villa Remedios.

8.- Es necesario reconocer de manera general que:

—Una buena parte de los eventos magnéticos periódicos (variaciones anuales por ejemplo) se deben a la variación de la geometría de la disposición de los elementos interactuantes, uno tomado como fuente y el otro como sensor.

Los menos corresponden a eventos magnéticos creados por fuentes físicas reales (dínamos).

9.- Los sensores del observatorio de Patacamaya tienen una muy buena libertad de movimiento, acomodándose inmediatamente a los cambios que se producen en el campo magnético de la tierra (menor inercia). Proporcionan un buen registro analógico continuo.

El hecho de que los sensores del observatorio de Villa Remedios estén instalados en posiciones rígidas posiblemente sea la causa de por qué ellas reaccionan con menor prontitud (mayor inercia) a los cambios del campo magnético de la tierra. El control del tiempo es mucho mayor en Villa Remedios que en Patacamaya. El control de la variación de la temperatura también lo es y finalmente, hay una clara ventaja tecnológica de los sensores de Villa Remedios respecto de los de Patacamaya debido a su alto grado de automatización que elimina una serie de fuentes de error en la obtención de datos.

10.- La automatización del sistema de instrumentos de medición de Patacamaya y su puesta en funcionamiento en el mismo punto donde trabaja el otro sistema moderno (el de Villa Remedios) podría resolver esta controversia.

REFERENCIAS

- [1] Jankowski Jerzy, Suckdorff Christian, *Guide for magnetic Measurements and Observatory Practice*, IAGA, 1996.
- [2] Hazard D.L., *Directions for Magnetic Measurements*, U.S. Department of Commerce, Coast and Geodetic Survey, Serial n^a 16, 1957.
- [3] Chapman S., and Bartels J., *Geomagnetism*, Vol. I and II, Oxford at Clarendon Press, 1940.
- [4] Jacobs J.A., *Geomagnetism*, Academic Press, London, 1987.
- [5] Mc Comb H.E., *Magnetic Observatory Manual*, U.S. Coast and Geodetic Survey; esp. Publ. 283, Washington, 1952.
- [6] Papoulis A., *Fourier Integral and its Applications*, Mc Graw Hill, 1962.
- [7] *Magnetic Observatory of Villa Remedios (REM) and Patacamaya (PTY) from Bolivia*, Anuario de Datos del Instituto de Investigaciones Físicas de la UMSA, 2003.