

## Informe Científico-Técnico

### “Instalación de una estación para el monitoreo de la Resonancia Schumann”

Proyecto:

“Análisis y caracterización de eventos solares tipo pulsantes con estructura temporal fina y del sistema dinámico Viento Solar-Magnetosfera-Ionosfera”

Programa:

“Cambio climático en Cuba: impactos, mitigación y adaptación”

Institución ejecutora:

Instituto de Geofísica y Astronomía

Jº Proyecto: Lic. Adolfo L. Méndez Berhondo

Grado Científico: Doctor en Ciencias Geofísicas

Categoría Científica: Investigador Titular

Departamento de Astronomía, Instituto de Geofísica y Astronomía

Agencia de Medio Ambiente

Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

La Habana, Cuba

- 2014 -

## Índice

Resumen	31
Introducción	31
Materiales y Métodos	32
Resultados y Discusión	33
Conclusiones	33
Bibliografía	34
Figuras	36
Anexo	40

## Resumen (244 palabras)

La existencia del fenómeno conocido como Resonancia Schumann consiste en la resonancia de ondas de extrema baja frecuencia (ELF.0 a 100Hz) que se propagan en la cavidad esférica que existe entre el límite inferior de la ionosfera y la superficie de la Tierra. La existencia de este fenómeno está se basa en:

- a) el sistema Tierra-aire-ionosfera actuando como una guía de ondas,
- b) excitación de ondas electromagnéticas por descargas eléctricas atmosféricas,
- c) la propagación de ondas electromagnéticas en una cavidad esférica.

En el presente Informe Científico-Técnico se presenta los resultados de la instalación de una estación para la observación y monitoreo de la resonancia Schumann. Su instalación inicial fue en el Instituto de Geofísica y Astronomía y es parte del instrumental de la Estación Radioastronómica de La Habana. Se prevé, con su instalación, puesta a punto y régimen de trabajo continuo (24 hrs.) forme parte de los servicios científico-técnicos que brinda el Instituto de Geofísica y Astronomía. Se prevé que esta estación forme parte de una red en el ámbito Latinoamérica de estaciones de este tipo.

Paralelo a la instalación de la estación para el monitoreo de la resonancia Schumann y como complemento de esta, se instaló una estación para el monitoreo de descargas eléctricas atmosféricas y el estado del campo eléctrico atmosférico. Dado la utilidad de sus prestaciones, esta estación puede brindar también un servicio independiente como es la detección y alerta temprana de descargas eléctricas atmosféricas en la vecindad (hasta 38 km de radio) del Instituto de geofísica y Astronomía.

## Introducción

La existencia del fenómeno conocido como Resonancia Schumann fue propuesto por Schumann (1952a,b,c,d) como resonancias de ondas de extrema baja frecuencia (ELF) que se propagan en la cavidad esférica que existe entre el límite inferior de la ionosfera y la superficie de la Tierra. La existencia de este fenómeno está se basa en:

- a) el sistema Tierra-aire<sup>1</sup>-ionosfera actuando como una guía de ondas,
- b) excitación de ondas electromagnéticas por descargas eléctricas atmosféricas,
- c) la propagación de ondas electromagnéticas en una cavidad esférica.

Polk y Fitchen (1962) fue la primera publicación que introduce el término resonancia Schumann, aunque fue definitivamente adoptado en la literatura y *media* científicos a partir de Madden y Thompson (1965). A partir de entonces ha sido cada vez más creciente el número de trabajos relacionados con este fenómeno y la relación que se evidencia tiene este con otros fenómenos naturales como perturbaciones ionosféricas (Cannon y Rycroft 1982), actividad solar y eventos solares (Roldugin *et al.* 1999 y 2004, Kulak *et al.* 2002, Ondrášková *et al.* 2011), actividad sísmica (Karakelian *et al.* 2000), y Chand *et al.* 2009), clima (Sekiguchi *et al.*, 2006) e incluso, posible impacto en la salud humana (Palmer *et al.* 2006).

---

<sup>1</sup> Por aire entendemos la atmósfera terrestre que se extiende entre la superficie de la Tierra y el límite inferior de la ionosfera, comprendiendo la troposfera, la estratosfera y la mesosfera, cubriendo una altura entre 0 y aproximadamente 80 km sobre la superficie terrestre.

El fenómeno conocido como resonancia Schumann consiste en la propagación de ondas electromagnéticas de extrema baja frecuencia (ELF) (0 a 100Hz) generadas por descargas eléctricas atmosféricas dentro de la cavidad (resonante) formada entre la superficie del planeta y la ionosfera. Para las frecuencias propias de este resonador natural las mismas se propagan circunvalando el planeta durante varias vueltas, siendo susceptible su registro mediante antenas de diversos tipos, siendo las inductivas las más usadas y apropiadas en el caso de las componentes magnéticas transversales (Hn-s y He-o) y antenas capacitivas para la componente eléctrica vertical (Ez) de dicha señal. El armónico principal de estas señales está ubicado en los 7,8 Hz  $\pm$  0,3 Hz aproximadamente y los siguientes en los 14, 20, 26, 32 y 39 Hz aproximadamente. Nickolaenko y Hayakawa (2014) es un excelente libro, recientemente publicado, que resume la fenomenología, los aspectos técnicos y en general, el estado del arte relacionado con el fenómeno de la resonancia Schumann, el cual se ha convertido en un material de obligada referencia.

**NOTA:** Al final de este Informe Científico-Técnico se anexa un artículo publicado en el cual se pueden seguir en detalle todos los aspectos tratados en este Informe Científico-Técnico. Se aclara que aunque el artículo versa sobre la estación Schumann instalada en México, tiene igual validez toda vez que ambas estaciones son gemelas y ambas fueron diseñadas e instaladas por nuestros especialistas.

## **Materiales y Métodos**

Para la instalación de la estación para la observación y monitoreo de la resonancia Schumann, se contaba con la experiencia de trabajo en el diseño e instalación de una estación gemela situada en los terrenos del Observatorio para el registro del Centelleo Interplanetario MEXART perteneciente al Instituto de Geofísica de la UNAM (Sierra *et al.* 2014).

Los principales componentes materiales necesarios utilizados para construir la estación Schumann fueron los siguientes:

- Dos antenas inductivas para las mediciones de las variaciones de las componentes Norte-Sur y Este-Oeste del campo magnético (Hn-s y He-o). Estas antenas están dispuestas ortogonalmente orientadas según el norte magnético.
- Una antena capacitiva para la medición de la componente vertical del campo eléctrico, Ez. Esta antena está sobre un mástil perpendicular a la superficie.
- Dos receptores para las antenas inductivas y un receptor para la antena capacitiva.

En el diagrama que se muestra en la figura 2 se representa la disposición de las antenas de la estación: La figura 3 muestra las antenas dispuestas en la vecindad de la Estación Radioastronómica de La Habana.

Las antenas consisten en elementos inductivos, sensores de campo magnético y eléctrico, esto es, están diseñadas para captar las variaciones del campo magnético y eléctrico que se producen en la dirección de su orientación preferentemente. Están formadas por un núcleo de Permaloy sobre el que están dispuestas, en este caso, 8 bobinas conectadas en serie y enfasadas y cuyos extremos ofrecen un voltaje proporcional al campo magnético detectado. Las mismas están dispuestas en las direcciones fundamentales Norte-Sur y Este-Oeste y en la vertical, detectando las componentes Hn-s y He-o y Ez respectivamente.

El receptor de la estación (figura 4) consiste de un preamplificador implementado con el Amplificador Operacional de Instrumentación LT1007, con una ganancia aproximada de 33 dB y alta impedancia de entrada, posteriormente un filtro pasa bajos (LPF) integrado tipo MAX 293 ajustado para una frecuencia de corte de 40 Hz. Este integrado cuenta interiormente con otro amplificador operacional con una ganancia aproximada de unos 29,5 dB. La señal, ya filtrada es amplificada por una última etapa consistente en un amplificador operacional OP27 configurado para proporcionar una ganancia de 26,8 dB. De manera que el receptor completo proporciona unos 90 dB de ganancia a la señal que entrega la antena. Estos receptores se alimentan con voltaje simétrico de +/-6,0 voltios, proporcionados por una pareja de baterías de 6 voltios que mantienen su carga a régimen automático con un panel solar y un regulador-controlador SunSaver10.

El proceso de adquisición y elaboración de la señal se realiza utilizando el programa comercial *LabView*. La velocidad de muestreo utilizada ha sido motivo de experimentación y ajustes en la medida en que hemos ido modificando el resto de los parámetros de observación y la calidad de los receptores en busca de mitigar lo más posible el efecto de las interferencias presentes en la localidad. No obstante pensamos que un muestreo de 130 muestras/segundo es suficientemente bueno, lo cual permite obtener espectros entre 0 y 40 Hz, cuyo límite superior lo establece el filtro pasa bajos (LPF) con corte en esa frecuencia, siendo posible de esta forma obtener los 5 primeros modos de la resonancia Schumann (7,8; 14; 20; 27 y 33 Hz).

## **Resultados y Discusión**

En la figura 5 se muestra un ejemplo de los espectros obtenidos mediante el uso de la transformada rápida de Fourier (FFT) de segmentos de registros de 10 minutos. El gráfico de la izquierda obtenido del receptor ya provisto del LPF, no así el de la derecha, en el que no se ha modificado aún, y en el que se pueden apreciar claramente 7 modos de la resonancia Schumann.

Por su parte, la estación para la observación de campo eléctrico atmosférico (descargas eléctricas atmosféricas) EFM-100, se encuentra en explotación aunque solamente está operando el tiempo en que se esté realizando las observaciones regulares de la Estación Radioastronómica de La Habana. No obstante, su diseño es para que opere continuamente las 24 horas del día. En la figura 6 se muestra la observación de una tormenta eléctrica severa (ocurrida el pasado día 2 de octubre de 2014 a partir de las 13 horas local).

Actualmente se está preparando un artículo descriptivo con los detalles técnicos de la instalación de la estación y se prevé su envío a la revista *Geofísica Internacional*, cuya circulación es internacional y es una referencia en el contexto Latinoamericano, toda vez que se planea incluir nuestra estación como parte de una red de estaciones similares en Latinoamérica. Ya existe un ante-proyecto para este fin, en el cual, la participación de nuestros especialistas es fundamental.

## **Conclusiones**

En colaboración con el Instituto de Geofísica de la UNAM, se diseñó y montó una estación para la observación y monitoreo de la resonancia Schumann. Las observaciones de prueba realizadas mostraron la efectividad de la estación y la posibilidad de incluir próximamente las observaciones

de este fenómeno como parte de los servicios científico-técnicos que se llevan a cabo en el Depto. de Astronomía del Instituto de Geofísica y Astronomía. Esta estación es la segunda de su tipo en Latinoamérica (la primera es una estación gemela situada en los terrenos del Observatorio para el registro del Centelleo Interplanetario MEXART perteneciente al Instituto de Geofísica de la UNAM). No obstante, debido a razones de seguridad y una alta contaminación ruidosa, no podemos pasar a su inmediata instalación definitiva. En el presente, se están haciendo pruebas y gestiones para su ubicación en un lugar adecuado para su cabal funcionamiento y patrullaje continuado las 24 horas del día.

Paralelo a la instalación de la estación para el monitoreo de la resonancia Schumann y como complemento de esta, se instaló una estación para el monitoreo de descargas eléctricas atmosféricas. Dado la utilidad de sus prestaciones, esta estación puede brindar también un servicio independiente como es la detección y alerta temprana de descargas eléctricas atmosféricas en la vecindad (hasta 38 km de radio) del Instituto de Geofísica y Astronomía. Es indudable la importancia práctica que tiene este servicio de detección temprana de descargas eléctricas atmosféricas.

## **Bibliografía**

- Cannon P. S y Rycroft M. J.: “Schumann resonance frequency variation during sudden ionospheric disturbances”, *J. Atmos. Terr. Phys.* **44**, 201-206 (1982).
- Chand R., Israil M. y Rai J.: “Schumann resonance frequency variations observed in magnetotelluric data recorded from Garhwal Himalayan region India”, *Ann. Geophys.* **27**, 3497-3507 (2009)
- Karakelian D., Klemperer S. L., Fraser-Smith A. S. y Beroza G. C.: “A transportable system for monitoring ultra low frequency electromagnetic signals associated with earthquakes”, *Seismology Res. Lett.* **71**, 423-436 (2000).
- Kulak A., Kubisz J., Michalec A., Michalek G. y Zieba S.: “Relation of Schumann resonances and ionospheric parameters to solar activity”, *Proc. SOHO 11 Symp. ‘From solar Min. to Max: Half a solar cycle with SOHO’*, ESA SP-**508**, 485-488 (2002).
- Madden T. y Thompson W.: “Low-frequency electromagnetic oscillations of the Earth-ionosphere cavity”, *Rev. Geophys.*, **3**, 211-254 (1965).
- Nickolaenko A. y Hayakawa M.: “Schumann Resonance for Tyros. Essentials of Global Electromagnetic Resonance in the Earth-Ionosphere Cavity”, Springer 2014, 348 pp (ISBN 978-4-431-54357-2; DOI 10.1007/978-4-431-54358-9).
- Ondrášková, A., Ševčík, S. y Kostecký, P.: “Decrease of Schumann resonance frequencies and changes in the effective lightning areas toward the solar cycle minimum of 2008-2009”, *J. Atm. Solar-Terr. Phys.* **73**, 534-543 (2011).
- Palmer S. J., Rycroft M. J. y Cermack M.: “Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the Earth’s surface”, *Surveys in Geophysics* **27**, 557-595 (2006).
- Polk C. y Fitchen F.: “Schumann resonances of the Earthionsosphere cavity-Extremely low frequency reception at Kingston, R.I.”, *J. Res. Natl. Bur. Stand. U.S., Sect. D*, **66**, 313-318 (1962).

- Roldugin V. C., Maltsev Ye. P., Vasiljev A. N. y Vashenyuk E. V.: “Changes of the first Schumann resonance frequency during relativistic solar proton precipitation in the 6 November 1997 event”, *Ann. Geophys.* **17**, 1293-1297 (1999).
- Roldugin V. C., Maltsev Y. P., Vasiljev A. N., Schokotov A. Y. y Belyajev G. G.: “Schumann resonance frequency increase during solar X-ray bursts”, *J. Geophys. Res.* **109**, 1216-1223 (2004)
- Schumann W. O.: “On the free eigen-oscillations of a conducting sphere, surrounded by an air film and an ionospheric shell”, *Z. Naturforsch. (Journal for Natural Science Research)*, **A7**, 149-154 (1952a).
- Schumann W. O.: “On the damping of the electromagnetic eigen-oscillations of the Earth-air-ionosphere system”, *Z. Naturforsch. (Journal for Natural Science Research)*, **A7**, 250-252 (1952b).
- Schumann W. O.; “On the propagation of very long electrical waves and the lightning discharge around the Earth”, *Z. Angew. Phys. (Journal for Applied Physics)*, **4**, 474-480 (1952c).
- Schumann, W. O.: “On the propagation of very long electrical waves and the wave spectrum of a lightning discharge”, *Naturwissenschaften (Natural Sciences)*, **39**, 475-476 (1952d).
- Schumann W. O.: “On the propagation of very long electrical waves around the Earth and the signals of the lightning discharge”, *Nuovo Cimento*, **9**, 1116-1138 (1952e).
- Sekiguchi M., Hayakawa M., Nickolaenko A. P. y Hobar Y.: “Evidence on a link between the intensity of Schumann resonance and global surface temperature”, *Ann. Geophys.* **24**, 1809-1817 (2006).
- Sierra P.; Vazquez S.; Andrade E., Mendoza B. y Rodriguez-Osorio D.: “Development of a Schumann-resonance station in Mexico: Preliminary measurements”, *IEEE Antennas and Propagation Magazine* **56**, 112-119 (2014).

**Figuras**

Figura 1. Espectrograma donde se observan los armónicos fundamentales de la resonancia Schumann. El espectro cubre un intervalo de 132 horas. Los segmentos a la izquierda señalan los armónicos en 7.8, 14, 20 y 26 Hz. Sobre los 33 Hz, aproximadamente, también puede notarse, aunque menos evidente, un armónico excitado:

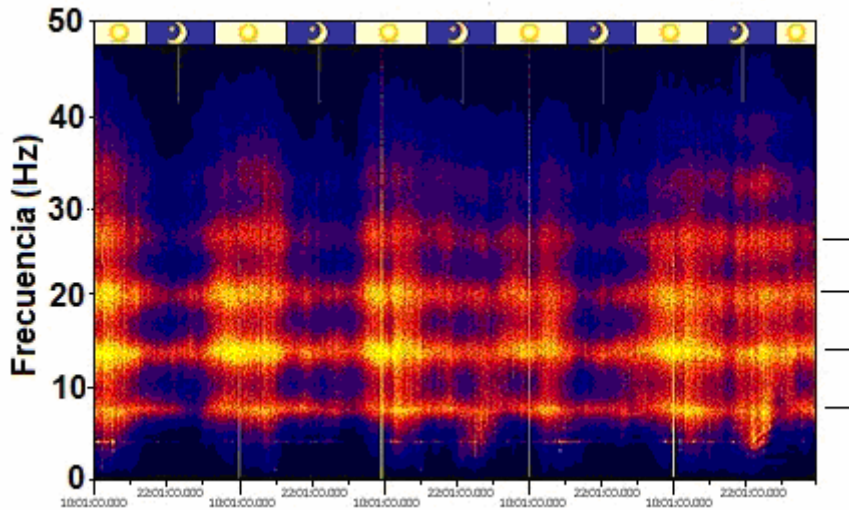


Figura 2. Diagrama que muestra la disposición aproximada de las antenas de la estación para el monitoreo de la resonancia Schumann:

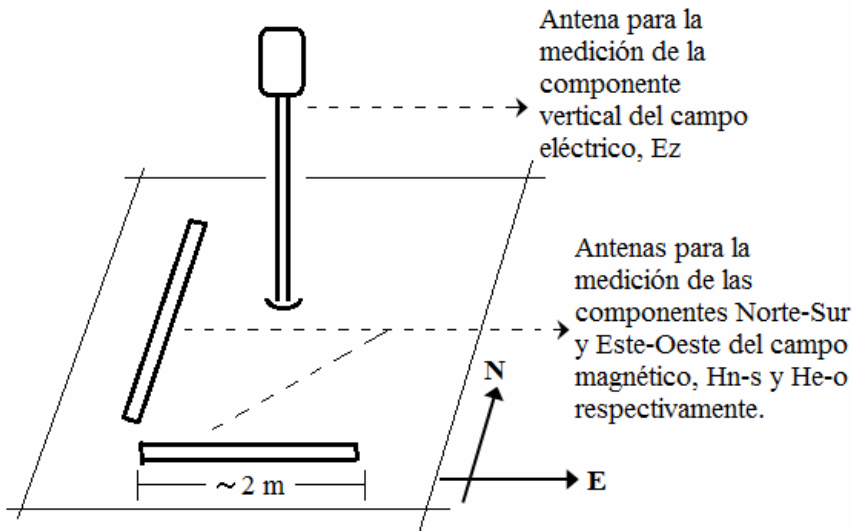




Figura 3. Disposición de las antenas para la observación de la resonancia Schumann en la Estación Radioastronómica de La Habana:



Figura 4. Esquema electrónico del receptor:

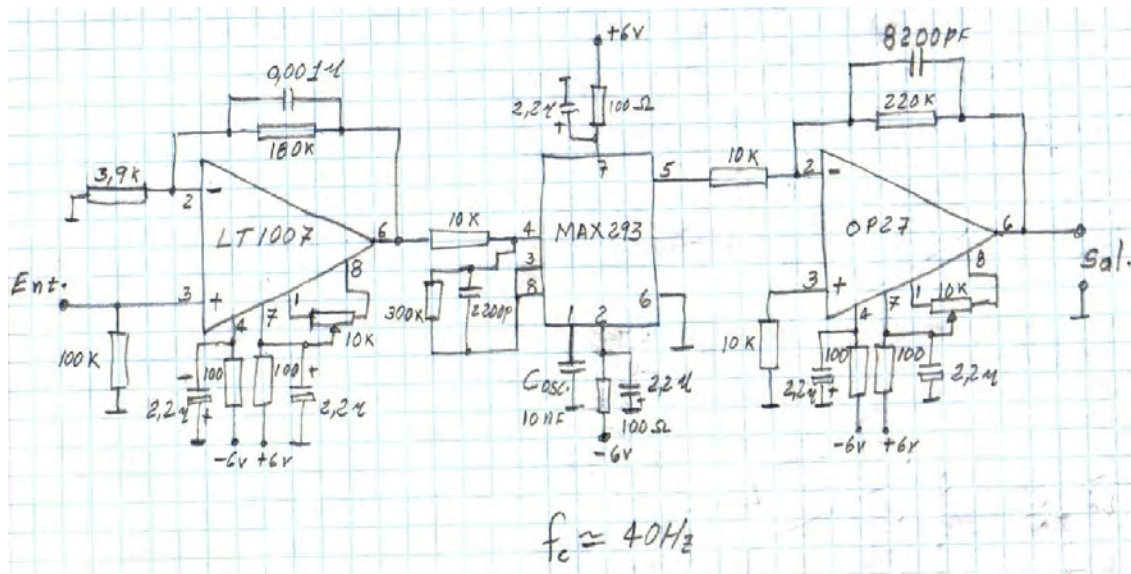


Figura 5. Registros finales de la resonancia Schumann. A la izquierda obtenido del receptor ya provisto del LPF para observar los primeros 5 modos. A la derecha, un registro sin LPF. Se pueden observar hasta 7 modos:

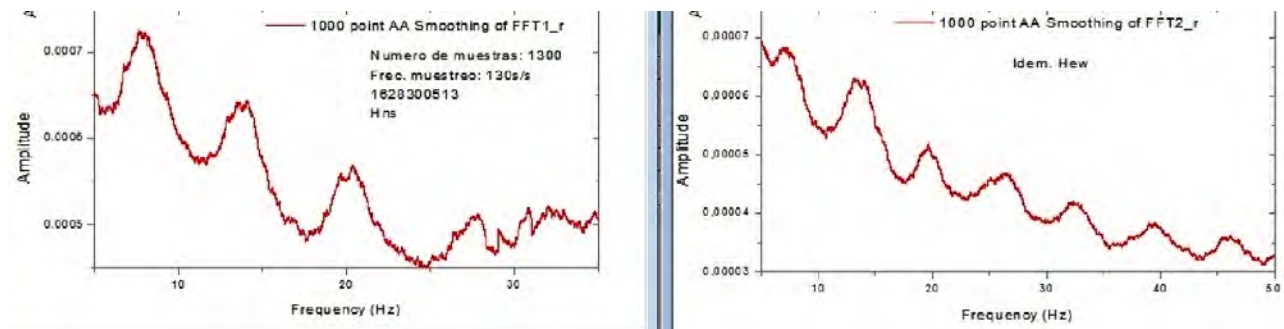
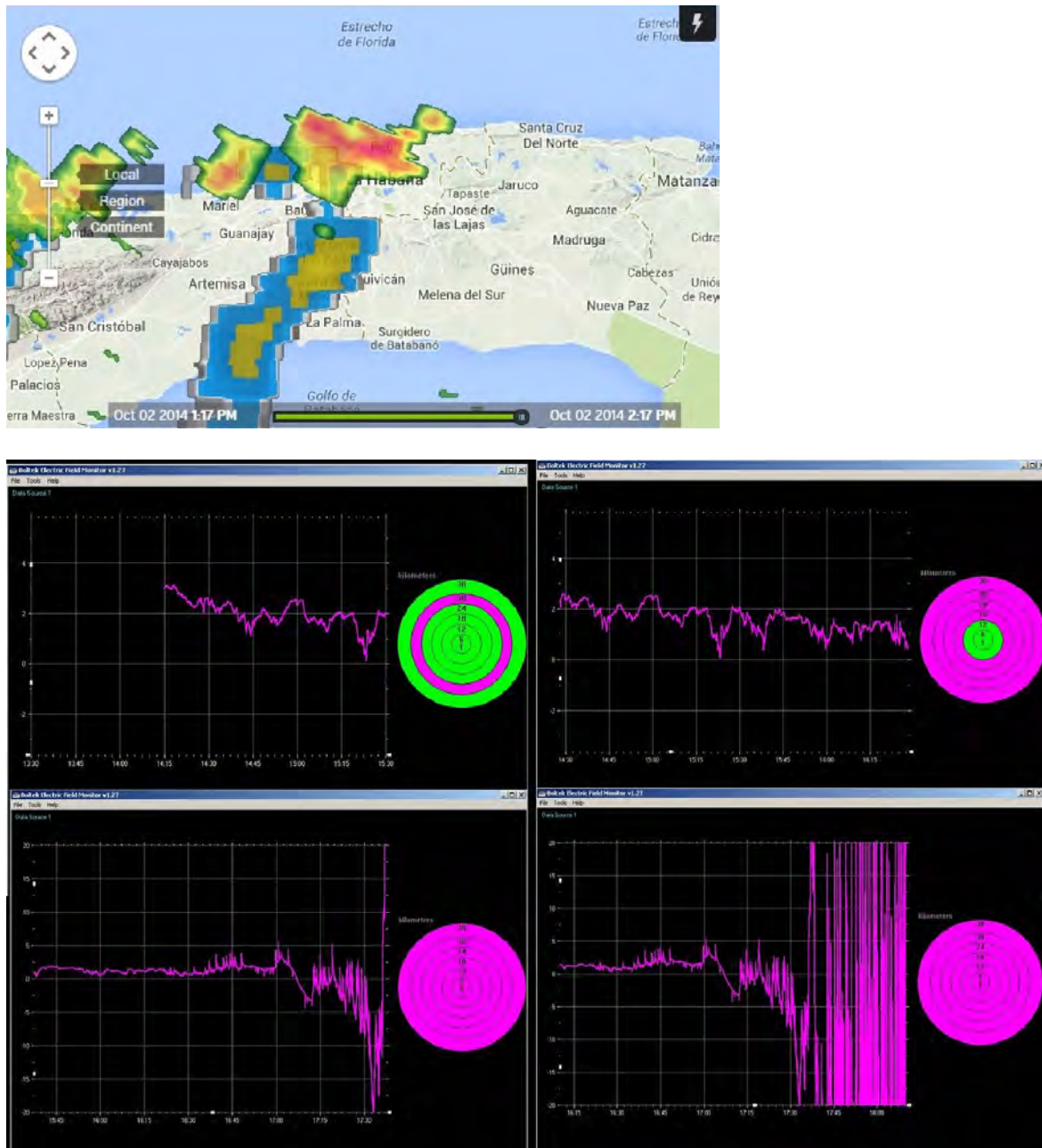


Figura 6. Tormenta eléctrica observada con la estación para la observación de campo eléctrico atmosférico (descargas eléctricas atmosféricas) EFM-100 situada en la Estación Radioastronómica de La Habana. Arriba, un mapa meteorológico donde se muestra la tormenta sobre la ciudad de La Habana. Abajo, un mosaico con 4 imágenes en las que se muestra, comenzando por la imagen superior izquierda, luego la derecha y siguiendo en ese orden las de abajo, el avance de la tormenta. En los gráficos polares, en rosado intenso, la zona bajo la tormenta, en verde, significa que no hay tormenta o descargas eléctricas atmosféricas. Los gráficos de la izquierda en el mosaico, corresponde con las mediciones de campo eléctrico locales. Nótese la gran variación cuando la tormenta alcanza el centro de los gráficos polares, o sea, cuando está justo encima de la estación.



## **Anexos**

Anexo 1: artículo “Development of a Schumann Resonance Station in México”. Publicado en *IEEE Antennas and Propagation Magazine* (2014).