

Respuesta de la región del plasma al sismo del Maule (M8.8)

Sallago, P. A.(1)(2); Quaglino, N.(1) ; I. R. Cabassi(1) y J. C. Gianibelli(1)

(1) Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía

(2) Grupo de MHD

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas-UNLP, La Plata, Argentina.

Resumen

Durante muchos años numerosos autores han estudiado las respuestas ionosféricas y geomagnéticas a los fenómenos sísmicos mediante el estudio de las pulsaciones geomagnéticas, los cambios en la conductividad del aire, las señales infrarrojas, comportamientos específicos del contenido electrónico total (TEC), variaciones en el flujo de partículas de alta energía, entre otras cantidades físicas que caracterizan a un plasma. Ellos se enfocaron en el desarrollo de algún parámetro de alerta sísmica y, por esta razón, propusieron diversos mecanismos para intentar explicar el vínculo entre los terremotos y las observaciones realizadas sobre los parámetros del plasma. En un trabajo anterior, se analizaron los efectos del terremoto del Maule sobre la región de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (SAMA). En la presente contribución, se analizan los datos registrados en las estaciones geomagnéticas de Trelew y Las Acacias. El instrumento ubicado en Trelew es un magnetómetro de precisión protónica ELSEC 770 y el ubicado en Las Acacias es un Geometrics G856 (modificado en FCAG-UNLP bajo la dirección del geofísico J. C. Gianibelli y el ingeniero R.E. García). Se propone una posible explicación teórica para la explicar el vínculo entre el comportamiento físico de la tierra sólida y el plasma. Este último es analizado dentro de la aproximación magnetohidrodinámica, proponiendo un modelo de tubo de flujo cilíndrico para la región del mismo. Entre otras perturbaciones, la generación y propagación de ondas de Alfvén son la propuesta elegida para la explicación del comportamiento del plasma y las respuestas geomagnéticas registradas.

Abstract:

From many years several authors have studied the ionospheric and geomagnetic responses during earthquake-time interval via the analysis of ULF magnetic pulsations, air conductivity changes, infra red signatures, specific features of TEC behavior, high energy particle flux variations, among others physical quantities that characterizes a plasma. They are devoted to determine a sort of earthquake alert and, for this reason, they have proposed possible mechanisms to explain the link among earthquakes and the observations made on the parameters of the plasma. In an earlier work, the effects of the Maule earthquake on the plasma of SAMA were analyzed. In the present contribution, the geomagnetic data recorded at the geomagnetic stations Trelew and Las Acacias are analyzed. The instrument located at Trelew is a ppm ELSEC 770 and the one located at Las Acacias is a ppm Geometrics G856 (modified at FCAG-UNLP under the direction of geophysicist J. C. Gianibelli and engineer R.E. García). A possible theoretical explanation for the physical link among the solid earth and the plasma is given, in the magnetohydrodynamics approximation, using a cylindrical flux tube model for the plasma region. Among others, the generation and propagation of Alfvén waves are chosen in order to explain some plasma and geomagnetic behavior.

Introducción:

El 27 de Febrero de 2010 a las 06:34:14 TU, tuvo lugar el sismo de magnitud 8.8 en la costa de Maule (Chile) (USGS, <http://earthquake.usgs.gov>). Este sismo era esperado según los resultados presentados por Ruegg et al. (2009) en su estudio de acumulación de esfuerzo. Este sismo se generó durante un período no perturbado de la actividad solar. Es importante remarcar este hecho en particular, porque todas las perturbaciones locales medidas se corresponden a esta fuente de origen interno, constituida por el comportamiento precursor y sísmico del fenómeno *us2010tfan*. Numerosos autores estudian el posible vínculo existente entre el comportamiento precursor y las perturbaciones experimentadas por las distintas cantidades físicas, con el objetivo de desarrollar algún tipo de mecanismo de alerta. A continuación se expone sintéticamente el estado actual del problema:

-Los fenómenos anómalos relativos a la propagación de ondas EM que ocurren antes y durante los sismos han sido analizados mediante un conjunto de mecanismos físicos que involucran a los precursores como explicación de dichas observaciones. Estos estudios incluyen efectos electrocinéticos, piezoeléctricos y magnetohidrodinámicos, procesos de generación de cargas, entre otros. Sin embargo, el origen de la existencia y de las características de las señales EM pre-sísmicas se mantiene en controversia hasta el

presente (Simpson, 2009).

-Se han propuesto que tienen lugar como precursores la formación de depresiones ionosféricas locales (Simpson and Tafflove 2007; Pulnits and Boyarchuk 2004), así como otras condiciones ionosféricas locales relativas a procesos geofísicos (Simpson, 2009). El análisis del contenido electrónico total determinado por GPS ha sido analizado por Ouzounov et al. (2006) para el sismo de Sumatra (Diciembre 2004-Abril 2005), y por Krankowski et al. (2008) para el sismo de Grecia (Enero 2006) y Nueva Zelandia (Noviembre de 2004). Hasbi et al. (2009) han analizado el comportamiento ionosférico y geomagnético durante los terremotos de Sumatra usando GPS y los registros magnetométricos de las estaciones cercanas a los epicentros. Estos eventos también tuvieron lugar durante un período de baja actividad solar. Las oscilaciones del TEC mostraron períodos de 5-10 minutos y fueron observadas con posterioridad a los sismos, mientras que los magnetómetros registraron pulsaciones geomagnéticas Pc5 de 5 minutos cerca de los 11 minutos posteriores al evento. Más aún, en orden de explicar las Pc5 Iyemori et al. (2005) han propuesto un mecanismo de dínamo ionosférico en la capa E sobre el epicentro. Además, Bleier et al. (2009) han investigado las pulsaciones magnéticas en el rango ULF, los cambios de conductividad del aire y las señales infrarojas asociadas con el sismo de Alum Rock (Octubre 2007).

La región de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur ha sido excluida de estos estudios debido a sus características peculiares (Aleksandrin et al., 2003). En un trabajo anterior, se analizaron los efectos del terremoto del Maule sobre la región de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (SAMA) (Sallago, 2010).

En la presente contribución, se analizan los datos registrados en las estaciones geomagnéticas de Trelew y Las Acacias. El instrumento ubicado en Trelew es un magnetómetro de precisión protónica ELSEC 770 y el ubicado en Las Acacias es un Geometrics G856 (modificado en FCAG-UNLP bajo la dirección del geofísico J. C. Gianibelli y el ingeniero R.E. García). Se propone una posible explicación teórica para explicar el vínculo entre el comportamiento físico de la Tierra sólida y el plasma. Este último es analizado dentro de la aproximación magnetohidrodinámica, proponiendo un modelo de tubo de flujo cilíndrico para la región del SAMA ocupada por el plasma. Se propone que, como consecuencia de los cambios que afectan a la Tierra sólida, una variedad de inestabilidades es generada en la región ocupada por el plasma y es la fuente de perturbación del estado de equilibrio. Entre otras perturbaciones, la generación y propagación de ondas de Alfvén son la propuesta elegida para la explicación del comportamiento del plasma y las respuestas geomagnéticas registradas.

Modelo y explicaciones propuestas para algunas de las evidencias experimentales:

Debido a que en los plasmas espaciales los fenómenos tienen lugar simultáneamente en una variedad de escalas de longitud, el análisis de los fenómenos físicos en consideración dependerán de la aproximación empleada. Se puede pensar en una estructura de plasma donde pueda tener lugar una variedad de situaciones en forma simultánea. Consideremos un tubo de flujo magnético cilíndrico como modelo para los campos de fondo (Sallago and Platzeck, 2006; Sallago, 2007).

Los cambios en las características de las sustancias que componen la Tierra sólida como resultado de la deformación mecánica y cambios termodinámicos que soporta en los momentos anteriores y durante eventos tales como los sismos, producen cambios en su conductividad (sustancias inhomogéneas y anisótropas). Los puntos de anclaje de las líneas de campo de inducción magnética se mueven durante estos cambios que tienen lugar en la región de actividad sísmica. El movimiento de la línea de campo produce redistribución de cargas y la generación de corrientes. Como otros procesos tienen lugar, tales como el calentamiento de la Tierra sólida, juntos contribuyen al crecimiento de inestabilidades de intercambio como el modo tearing. Estas son capaces de conducir a reconexión (Priest and Forbes, 2000). Si hay disponible energía suficiente para entregar al plasma, pueden resultar en un proceso de eyección de plasmoides dentro de la nueva configuración del campo. La hipótesis es que este mecanismo tiene lugar en una región localizada de el tubo de flujo cilíndrico confinado (Sallago, 2010). Las inestabilidades generan perturbaciones de todo tipo, entre ellas generan ondas de Alfvén. Las ondas de Alfvén se propagan en todo tipo de plasmas, aún en los plasmas multicomponentes levemente ionizados (Vranjes et al., 2008).

Al alcanzar las ondas de Alfvén a la atmósfera neutra, se producen ondas-hijas que preservan características físicas de las ondas-madre, por ejemplo su polarización; algunas de las ondas-hijas son pulsaciones geomagnéticas (Sallago, 2004-2007). Este resultado teórico ha sido confirmado experimentalmente por Hasbi et al. (2009). En consecuencia, se obtienen pulsaciones geomagnéticas por el mecanismo de generación de ondas madre-hija.

El 27 de Febrero de 2010 a las 06:34:14 TU, tuvo lugar el sismo de magnitud 8.8 en Maule, (Chile), (USGS). Este tuvo lugar durante un período de actividad geomagnética calma. Es importante remarcar este hecho, ya que las perturbaciones medidas se corresponderán con la fuente de origen interno debido a la actividad precursora y sísmica propiamente dicha. En un trabajo anterior Sallago (2010) ha estudiado las variaciones en los parámetros ionosféricos provenientes de NGDC-NOAA via spidr y la intensidad magnética proveniente de la red INTERMAGNET en una escala temporal de 3 días, dentro de la región SAMA como escala de longitud. Distintos períodos fueron determinados para las variaciones temporales. Las ondas ionosféricas se propusieron provenientes de una inestabilidad de sausage mientras que las perturbaciones geomagnéticas se propusieron generadas por el mecanismo madre-hija (Pc5, en particular).

El presente trabajo compara los registros provenientes de las estaciones geomagnéticas de Las Acacias (LAS) y Trelew (TRW) dentro de la misma escala temporal del trabajo anterior. Los registros se dividieron en situaciones pre-sísmicas y post-sísmicas. Puede notarse del análisis de los mismos que las estaciones LAS y TRW se ven influenciadas por distintos tipos de perturbaciones. Además, la energía se distribuye en forma diversa, viéndose afectada más velozmente y con mayor intensidad la región de influencia de la estación LAS, independientemente de si los fenómenos se corresponden con perturbaciones precursoras o post-sísmicas. Podría ponerse en evidencia un comportamiento marcado a responder más velozmente a las perturbaciones con frecuencias correspondientes a las ondas ionosféricas, encontradas en el trabajo anterior, en los registros de la estación TRW, mientras que las perturbaciones con frecuencias correspondientes a las pulsaciones geomagnéticas se ponen de manifiesto en LAS con mayor celeridad e intensidad.

Para la mayor comprensión del complejo mecanismo que tiene lugar en el plasma frente a los cambios de las características físicas de la tierra sólida son necesarios tanto el análisis de una mayor densidad de datos como una extensión del modelo del campo de fondo que tenga en cuenta las variaciones espaciales de los parámetros físicos que pone en evidencia el análisis de los registros del que se ocupa el presente trabajo.

Conclusiones:

Se ha utilizado la hipótesis propuesta por Sallago (2010) que durante el período de actividad sísmica (incluyendo en éste al intervalo precursor y post-evento) tiene lugar en la región del plasma la reconexión de las líneas de campo de inducción magnética en una región localizada dentro del modelo del campo de fondo constituido por el pinch cilíndrico. Distintos tipos de inestabilidades generan diversas perturbaciones, entre ellas las ondas de Alfvén. Ya que las ondas de Alfvén se propagan en todo tipo de plasmas, incluso en los multicomponentes levemente ionizados, cuando éstas alcanzan el gas neutro producen ondas-hijas que mantienen inalteradas las características de las ondas-madre, por ejemplo su polarización. Algunas de las ondas-hijas son pulsaciones geomagnéticas.

Del análisis de los registros de las estaciones LAS y TRW se pone en evidencia que los mismos se hallan influenciados por distintos tipos de perturbaciones. Además, independientemente de si los fenómenos se corresponden con perturbaciones precursoras o post-sísmicas, la energía se muestra distribuida en forma diferente. Para la mayor comprensión del complejo mecanismo que tiene lugar en el plasma frente a los cambios de las características físicas de la Tierra sólida son necesarios tanto el análisis de una mayor densidad de datos como una extensión del modelo del campo de fondo que tenga en cuenta las variaciones espaciales de los parámetros físicos que ponen en evidencia el análisis efectuado en el presente trabajo.

Referencias:

- Aleksandrin, S. Yu, A. M. Galper, L. A. Grishantzeva, S. V. Koldashov, L. V. Maslennikov, A.M. Murashov, P. Picozza, V. Sgrigna, and S. A. Voronov, High-energy charged particle bursts in the near-Earth space as earthquake precursors, *Annales Geophysicae* (2003) 21: 597–602.

-Bleier, T., C. Dunson, M. Maniscalco, N. Bryant, R. Bamberg, and F. Freund, Investigation of ULF magnetic pulsations, air conductivity changes, and infra red signatures associated with the 30 October Alum Rock M5.4 earthquake, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 585–603, 2009.

-Hasbi, Alina Marie, Mohammed Awad Momani, Mohd Alauddin Mohd Ali, Norbahiah Misran, Kazuo Shiokawa, Yuichi Otsuka, Kiyohumi Yumoto; Ionospheric and geomagnetic disturbances during the 2005 Sumatran earthquakes. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 71 (2009) 1992–2005.

-Iyemori, T., et al., 2005. Geomagnetic pulsations caused by Sumatra earthquake on December 26, 2004. *Geophys. Res. Lett.* 32, L20807. doi:10.1029/2005GL024083.

- Krankowski, A.; Zakharenkova, I.; Shagimuratov, I.; Features of the Ionosphere Modification Preceding Strong Earthquakes Derived Using GPS TEC Measurements, American Geophysical Union, Fall Meeting 2008, abstract #S52A-04.
- Ouzounov, D.; Pulinets, S.; Ciraolo, L.; Cervone, G.; Kafatos, M.; Taylor, P.; Parrot, M.; Li, F.; Hattori, K.; The analysis of GPS Total Electron Content (TEC) and Satellite Electromagnetic Data of Atmospheric Processes Related to the Northern Sumatra Earthquake Swarms of Dec 2004-Apr 2005, American Geophysical Union, Fall Meeting 2006, abstract #T34B-08.
- Priest, E.R., 1982, Solar Magnetohydrodynamics, D Reidel, Norwell, Mass.
- Priest, E.R. and Forbes, T., 2000, Magnetic Reconnection, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ruegg, J.C., Rudloff, A., Vigny, C., Madariaga, R., de Chaballier, J. B., Campos, J., Kausel, E., Barrientos, S., Dimitrov, D., 2009. Interseismic strain accumulation measured by GPS in the seismic gap between Constitución and Concepción in Chile, Physics of the Earth and Planetary Interiors 175, 78-85.
- Sallago, P.A., 2004, Actas de la reunión de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, Argentina, <http://www.aagg.org.ar/aagg-t.html>.
- Sallago, P. A. and A.M. Platzeck, 2006, J.of Plasma Physics 72, 625-633.
- Sallago, P.A., 2007, Geoacta 32, Argentina, 51-57, <http://www.aagg.org.ar/RES%2032.pdf>.
- Sallago, P.A., 2010, AGU Meeting of Americas, Foz do Iguaçu, Brazil.
- Simpson, Jamesina J; Current and Future Applications of 3-D Global Earth-Ionosphere Models Based on the Full-Vector Maxwell's Equations FDTD Method, Surv. Geophys. (2009) 30:105–130 .
- USGS NEIC (WDCS-D), <http://earthquake.usgs.gov>.
- Vranjes J., S. Poedts, B. P. Pandey, and B. De Pontieu, Energy flux of Alfvén waves in weakly ionized plasma, A&A 478, 553–558 (2008), DOI: 10.1051/0004-6361:20078274 .



**Asociación Argentina de
Geofísicos y Geodestas**

**XXV REUNIÓN CIENTÍFICA
ASOCIACIÓN ARGENTINA DE GEOFÍSICOS Y GEODESTAS
Provincia de Córdoba
2 al 5 noviembre de 2010
TRABAJOS EXTENSOS
ÍNDICE GENERAL PAG 39-42
ISBN: 978-987-25291-2-3**