



EFFECTOS DE CORRIENTES GEOMAGNÉTICAS INDUCIDAS SOBRE GASODUCTOS: MARZO 1989, OCTUBRE 2003 Y JUNIO DE 2013

Patricia Larocca¹ y Virginia Silbergleit^{2,3}

¹ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería Instituto de Geodesía y Geofísica Aplicadas, Argentina

² UNiversidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Instituto de Gas y Petróleo, Argentina.

³ CONICET

RESUMEN

En marzo de 1989, una de las más severas tormentas geomagnéticas del siglo XX causó importantes problemas sobre sistemas de transmisión eléctrica en importantes centrales eléctricas ubicadas en zonas aurales. En octubre de 2003 ocurrió otra importante tormenta, como también la de junio de 2013 (de menor intensidad) pero sin causar demasiados daños. Este trabajo examina las características de las tres tormentas y se comparan los campos eléctricos inducidos en los tres períodos como así también las corrientes inducidas sobre un tramo del gasoducto TransCanada en la provincia de Ottawa, Canadá.

Palabras clave: campo geoelectrico, campo geomagnético, corrientes geomagnéticas inducidas, gasoductos.

ABSTRACT

During March 1989, one of the most severe geomagnetic disturbance caused significant problems for electrical transmission grids in major power plants located in auroral zones. In October 2003 another major storm occurred, as well as the June 2013 (low intensity) but without causing too much damage. This paper examines the characteristics of the three storms and compared the induced electric fields in the three periods as well as the currents induced on a gas pipeline of the Trans Canada Co, in Ottawa, Canada.

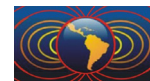
Keywords: geoelectric field, geomagnetic field, geomagnetically induced current, pipelines

Introducción

Las corrientes inducidas sobre gasoductos han sido estudiadas en distintas partes del mundo (Martín, 1993; Boteler, 1998; Osella *et al.*, 1998). La mayoría son causadas por los campos eléctricos asociados con las variaciones rápidas del campo magnético terrestre y son más importantes en zonas de altas latitudes donde estas variaciones del campo magnético se originan, aunque hay reportes de efectos de corrientes inducidas en tuberías asociados al electrochorro ecuatorial (Ogunade, 1986).

Para estudiar las corrientes geomagnéticas que se inducen en un gasoducto Boteler, Cookson (1986) desarrollaron la teoría de fuentes distribuidas de líneas de transmisión (DSTL). Obteniendo un modelo útil para la representación de un gasoducto enterrado.

Hemos elegido tres períodos asociados con fuertes tormentas geomagnéticas: 1) Marzo de 1989, 2) Octubre de 2003 y 3) Junio de 2013, para observar los efectos producidos sobre un gasoducto ubicado en la zona de Armprior, Canadá que atraviesa dicho país con orientación E-W. Para ello se estudian los índices geomagnéticos 1) DST que se calcula a partir de la magnitud de la componente horizontal del campo magnético H sobre la superficie terrestre en estaciones magnéticas cercanas al Ecuador y sirve para estimar el contenido total de energía de las partículas que forman el anillo de corriente, para el estudio de una tormenta geomagnética, cuya fase principal es la intensificación de la corriente de anillo y 2) AE que se obtiene a partir de magnetogramas de estaciones geomagnéticas ubicadas en el óvalo auroral boreal y la



componente del campo eléctrico inducido paralela al gasoducto determinada con un modelo unidimensional de suelo en la traza del mismo .

Análisis de datos

Para el análisis de las fuertes tormentas elegidas se estudiaron los índice horarios DST y el AE que están disponibles en la página web del World Data Center-A for Solar-Terrestrial Physics ya que permiten determinar la energía disipada en la magnetosfera terrestre.

Akasofu (1996) ha estudiado la energía en el acoplamiento entre el viento solar y la magnetosfera. Como así también, la energía transferida a la magnetopausa que puede ser calculada a partir de una fórmula empírica a partir del índice Dst y corregida por presión del viento solar y el índice AE.

Se considera una tormenta fuerte cuando el índice Dst < -100 nT (10) y el índice AE > 600 nT (Elias *et al.*, 2008).

En las Figuras 1 y 2 se comparan los índices Dst y AE respectivamente, de los 3 períodos elegidos; a saber 13 de marzo de 1989, 30 de octubre de 2003 y 1 de junio de 2013. A partir de la Tabla 1. Observamos que los tres períodos citados corresponden a estados perturbados de la magnetosfera (Mayaud, 1980).

Fuertes niveles de actividad geomagnética evidenciados en la Tabla 1 inducen cambios en las corrientes eléctricas en la ionosfera. Estas corrientes producen cambios en el campo magnético terrestre el cual induce un campo eléctrico no sólo en la tierra sino en todos los conductores presentes en la misma.

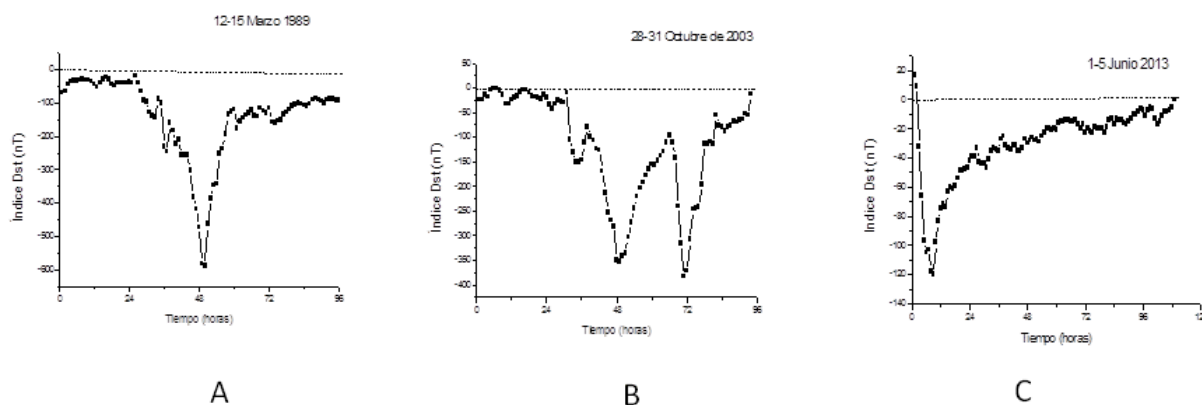


Figura 1. **A.** Índice Dst para el período correspondiente 13 Marzo 1989. **B.** Índice Dst para el período correspondiente al 28-31 Octubre 2003. **C.** Índice Dst para el período correspondiente al 1-5 de junio de 2013.

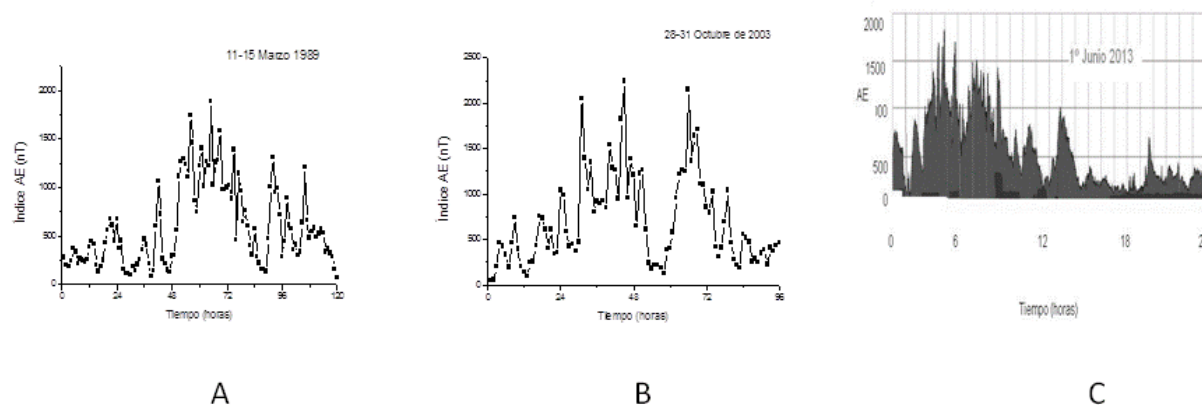
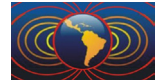


Figura 2. **A.** Índice AE para el período correspondiente 13 Marzo 1989. **B.** Índice AE para el período correspondiente al 28-31 Octubre 2003. **C.** Índice AE para el período correspondiente al 1-5 de junio de 2013.



Marzo 1989	Octubre 2003	Junio 2013
$Dst_{min} = -589 \text{ nT}$	$Dst_{min} = -353 \text{ nT}$	$Dst_{min} = -120 \text{ nT}$
$AE_{max} = 1884 \text{ nT}$	$AE_{max} = 2241 \text{ nT}$	$AE_{max} = 1800 \text{ nT}$

Tabla 1. Valores extremos de los índices geomagnéticos AE y Dst

En las figuras 3, 4 y 5 se presentan para un modelo de tierra uniforme los valores del campo eléctrico inducido E en la zona de Armprior, Canadá que fueron obtenidos de la página del Observatorio Magnético de Ottawa, Canadá para los tres períodos citados.

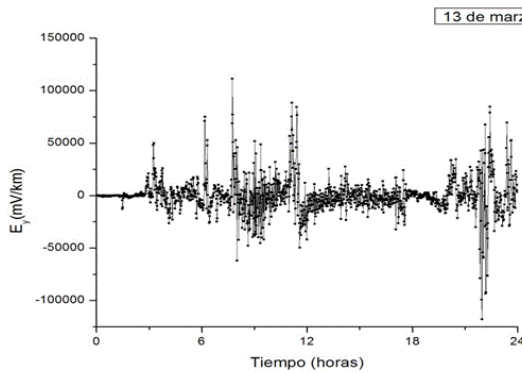


Figura 3. Intensidad del Campo Eléctrico medido en el Observatorio Magnético de Ottawa, Canadá (www.nrcan.plotting-service). 13 de marzo de 1989.

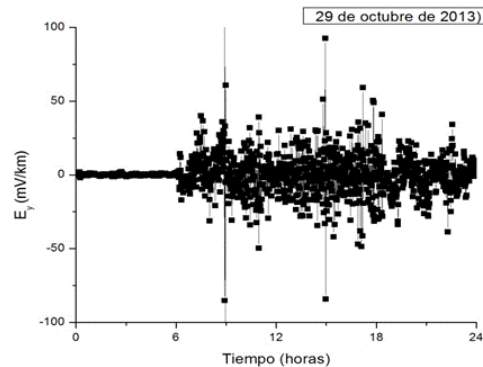


Figura 4. Intensidad del Campo Eléctrico medido en el Observatorio Magnético de Ottawa, Canadá (www.nrcan.plotting-service), 29 de octubre de 2003.

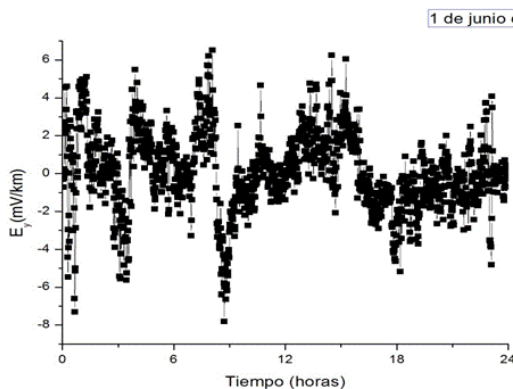
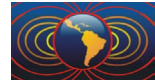


Figura 5. Intensidad del Campo Eléctrico medido en el Observatorio Magnético de Ottawa, Canadá (www.nrcan.plotting-service), 1 de junio de 2013.

Resultados

La respuesta eléctrica de una tubería a la inducción geomagnética se puede modelar a partir de la teoría DSTL. El gasoducto se representa como una línea de transmisión con una impedancia en serie Z, dada por las propiedades resistivas del acero del mismo y su sección transversal y una admitancia Y en paralelo que se define a partir de las propiedades del recubrimiento. El campo eléctrico E, inducido en el caño por perturbaciones geomagnéticas se representa por fuentes de voltaje distribuidas a lo largo del mismo.

Las propiedades de la línea de transmisión se pueden combinar para dar la constante de propagación γ y la impedancia característica, Z_0 resultando:



$$\gamma = \sqrt{ZY}Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}}\gamma = \sqrt{ZY}Z_0 = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \quad (1)$$

Así la expresión que resulta para la determinación de la intensidad de corriente I a lo largo de una tubería extensa es (Boteler, 2000):

$$I = \frac{E}{Z} - \frac{V_1}{Z_0} e^{-\gamma x} - \frac{V_2}{Z_0} e^{-\gamma(L-x)} \quad I = \frac{E}{Z} - \frac{V_1}{Z_0} e^{-\gamma x} - \frac{V_2}{Z_0} e^{-\gamma(L-x)} \quad (2)$$

Donde V_1 y V_2 son los voltajes y Z_1 y Z_2 las impedancias en los extremos de la cañería.

En las figuras 6 y 7 representamos la corriente telúrica inducida en una tubería extensa de 500 km de longitud pudiendo observar, como demostró Pulkkinen *et al.* (2001), que está en fase a largo de todo el recorrido de la misma y alcanza su máximo en la parte central.

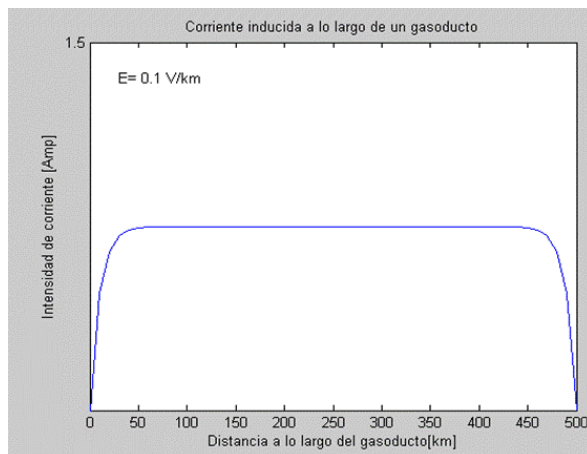


Figura 6. Corriente inducida a lo largo de un gasoducto de 500 km de longitud ($E = 0.1$ mV/km)

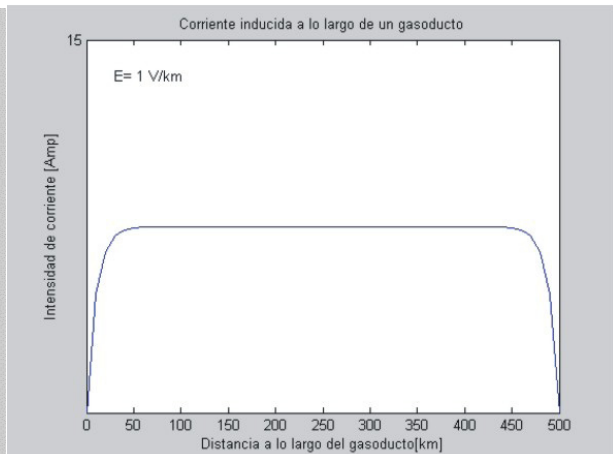


Figura 7. Corriente inducida a lo largo de un gasoducto de 500 km de longitud ($E = 1$ mV/km)

Conclusiones

Se analizaron los valores de los índices de actividad geomagnética AE y Dst para tres períodos indicando que los mismos corresponden a de fuertes tormentas geomagnéticas.

Durante tormentas geomagnéticas severas pueden darse campos eléctricos de 1 V/km que producirán corrientes inducidas en las cañerías de hasta 10 Amp. En el caso de la tormenta de Marzo de 1989 se registraron variaciones del campo magnético en el Observatorio de Ottawa podrían haber producido que el campo eléctrico inducido alcanzara los 2 V/km (Boteler, 2004).

Estas corrientes geomagnéticas inducidas crean las condiciones óptimas para que se produzca corrosión en largas tuberías ubicadas principalmente en zonas aurorales y subaurorales es como es el caso de la enunciada en este trabajo.

El estudio de la actividad geomagnética se puede usar para determinar cuán seguido estas corrientes se producen en un gasoducto y a partir del análisis de distintos factores como son la condición de suelo, divisiones de la cañería, cambio de dirección, etc es posible disminuir el efecto acumulativo de las corrientes telúricas inducidas sobre un gasoducto como es la corrosión.



Referencias

- Boteler, D. H. and Cookson, M. J., 1986. Telluric currents and their effects on pipelines in the Cook Strait region of New Zealand, *Material Performance*, 27-32.
- Boteler, D. H., 1998. Geomagnetic induction in pipelines, presented at COSPAR General Assembly, Nagoya, Japan.
- Boteler, D. H., 2000. Geomagnetic Effects on the pipe-to-soil potentials of a Continental Pipeline. *Adv. Space Res.* 26, No. 1, 15-20.
- Boteler, D. H., 2004. Gic Effects on Power Systems: March 1989. AGU Fall Meeting SM21A-06.
- Elias, A. G. and Silbergleit V. M., 2008. Strong Geomagnetic Disturbances and induced Currents on Earth Surface. Progress In *Electromagnetics Research Letters*, 1, 139-148.
- Martin, B. A., 1993. Telluric effects on a buried pipeline, *Corrosion*, 49, 343-350.
- Mayaud, P. N., 1980. Derivation, meaning and use of geomagnetic indices. *Geophysical Monograph 22*, American Geophysical Union, .
- Ogunade, S. O., 1986. Induced Electromagnetic Fields in Oil Pipelines Under Electrojet Current Sources, *Phys. Earth Planet. Int.*, 43, 307.
- Osella, A., Favetto A. and Lopez E., 1998. Currents Induced by Geomagnetic Storms on Buried Pipelines as a Cause of Corrosion, *Journal of Applied Geophysics*, 38, 219-233.
- Pulkkinen, A., Pirjola R., Boteler D., Viljanen A. and Yeagerov I., 2001. Modelling of space weather effects on pipelines. *J. Appl. Geophys.* 48, 233-256.