EL MEDIO AMBIENTE DE LA CONEXION SOL-TIERRA Y SUS EFECTOS EN LA RED DE GASODUCTOS Y OLEODUCTOS EN LA ARGENTINA

Julio César Gianibelli[1], Nicolás Quaglino[2], Ricardo Dovico[3] y Raúl Peiretti[4]

[1,2] Facultad de Cs. Astronómicas y Geofísicas, UNLP. Paseo del Bosque S/N, (1900), La Plata, Buenos Aires, Argentina. TE: 0054-0221-4236593 int 132 – email: geofisicogianibelli@yahoo.com.ar

[3,4] LOXX-Service Argentina. San Martín Nº 327, (1878), Quilmes, Buenos Aires , Argentina. TE/FAX: 0054-011-42545772. Email.raul_loxx@uolsinectis.com.ar

Julio César Gianibelli: Profesor Titular de la Cátedra de Geomagnetismo y Aeronomía. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata. Investigador. Jefe del Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía. Director del Proyecto de Investigación "Observatorios Magnéticos, diseño de instrumental y modelado".

Nicolás Quaglino: Técnico del Departamento de Geomagnetismo y Aeronomía. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata. Encargado del Observatorio Magnético de Las Acacias dependiente de la UNLP y técnico especializado en procesamiento de datos.

Ricardo Dovico: Ingeniero Investigador de la Empresa LOXX- Service, Argentina. Asistencia técnica y científica a industrias. http://www.loxxservice.com .

Raul Peiretti: Ingeniero Gerente e Investigador de la Empresa LOXX- Service, Argentina. Asistencia técnica y científica a industrias. http://www.loxxservice.com .

RESUMEN

Se analizan los efectos de la interacción Sol-Tierra sobre la estructura de los sistemas de cañerías de abasteciemento de gas y petróleo. Se presenta el resultado de experiencias sobre una cañería de gas de 8000 metros de longitud situada en la localidad de Quilmes (lat.: -34º 40' Sur; long.: 301º 40'), Provincia de Buenos Aires. Se concluye que los efectos de tormentas magnéticas de amplitud mayores a los 300 nanoTeslas producen cambios en el potencial inducido caño-suelo mayores que los permitidos por la protección catódica de corriente impresa.

PALABRAS CLAVE: Climatología Espacial, Geosistema, Medio Ambiente, Corrosión, Gasoductos.

INTRODUCCION

Los escenarios donde se desarrolla la actividad industrial del hombre son diversos. Uno de ellos es el que involucra las redes de transmisión de energía eléctrica, gas y petróleo, fundamentales para dicho desarrollo. Su ubicación geográfica y su relación con el geosistema son nuevas líneas de investigación de fenomenologías tales como colapsos en las redes de energía eléctrica y efectos de corrosión en cañerías, producidas por los efectos de la interacción de la actividad solar con el geosistema durante las tormentas magnéticas (Gummow *et al*, 2002 y sus referencias), y que se producen muy frecuentemente en el hemisferio norte por estar la zona más poblada cerca de las zonas de actividad auroral. La disciplina que actualmente estudia estos eventos se denomina "Climatología espacial" (Bothmer and Daglis, 2007; Lilensten, 2007). La misma se ocupa de investigar y pronosticar los fenómenos que produce la actividad solar a través de las perturbaciones magnéticas y de partículas cargadas que viajan con el Viento Solar, y que llegan hasta el espacio que circunda la Tierra. Allí interaccionan con el Campo Magnético Terrestre desarrollando toda una serie de procesos que se traducen en efectos sobre los sistemas de transmisión de energía, ya sea enterrados o a cielo abierto, ligados a la actividad industrial del

hombre. Estas cañerías pueden sufrir agresiones químicas o físicas por la inducción que genera corrientes en el caño (Parker and Peattie, 1999). Este es el efecto de los sistemas de corrientes de la cavidad magnetosférica e ionósfera, que se experimenta en las cañerías de gas y petróleo, y que evidencia que la fenomenología estudiada por la Climatología Espacial es global, aunque se presenta de manera más compleja en las regiones cercanas a los Polos Magneticos Norte y Sur, y sobre la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (ver figura 1).

El Campo Magnético registrado en un observatorio magnético está compuesto por el campo principal generado por un geodínamo residente en el Núcleo Externo de la Tierra (Merrill *et al*, 1998), que representa el 95 % del valor total determinado en forma absoluta en ese observatorio. El 5 % restante corresponde a los campo producidos por la Corteza de la Tierra (aprox. 2 %), el campo producido por las corrientes de origen externo representadas por el Sistema de Corrientes Ionosféricas, Corriente Anillo, Corriente de la Magnetopausa, Corriente de la Cola de la Magnetósfera y Efectos de los Sistemas de Coerrientes de los Casquetes Polares (aprox. 2.8 %). El 0.2 % restante de dicho campo total registrado corresponde a la inducción en la Corteza, Hidrósfera, Astenósfera, Litósfera y Manto Inferior producidos por los sistemas de corrientes externos ya mencionados (Campbell, 2003; Parkinson, 1983). Estos sistemas de corrientes externas son producidos por el efecto de la conexión Sol-Tierra. Los sistemas de corrientes ionosféricas son responsables de las variaciones diurnas y su origen es por el efecto termoionizante del Sol. Los otros sistemas de corrientes son producidos por el efecto colectivo de las partículas cargadas que son eyectadas por la actividad de la Corona Solar (Parkinson, 1983).

El Observatorio Magnético de Las Acacias (LAS, Lat.:-35º.0; Long.: 302º.3) se encuentra ubicado en la región de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur. El valor de la Intensidad Total del campo registrado allí es el menor en toda la superficie de la Tierra, de 23333 nT, y con una disminución de 49,7 nT/año. En la Figura 1, observamos la ubicación del Observatorio de Las Acacias (UNLP), Trelew (UNLP) y Vassouras (Brasil), que controlan la evolución del mínimo producido por el campo principal. Este mínimo tiene una importancia fundamental en la relación Sol-Tierra ya que permite que partículas cargadas provenientes del Viento Solar penetren más profundamente en la cavidad magnetosférica correspondiente a esta región, en especial en las postrimerías del

Equinoccio de primavera y Solsticio de verano en el Hemisferio Sur (Gianibelli *et al*, 2006). Esto se evidencia en la actividad de perturbación observada en los registros digitales de estos Observatorios magnéticos.

Para el estudio del medio ambiente donde se tiene la conexión Sol-Tierra de los fenómenos registrados en superficie por el Observatorio Magnético de Las Acacias, se utilizan las observaciones de la velocidad y densidad del Viento solar realizadas por la Sonda ACE (Avdanced Composition Explorer). Esta sonda se encuentra ubicada en el punto de libración gravitacional L1 entre la Tierra y el Sol (ver figura 2).

En el presente trabajo se estudian los efectos de las variaciones del Campo Magnético registrado en LAS y de tormentas magnéticas sobre los registros del potencial caño-suelo inducido en un gasoducto en la región del Río de la Plata y su relación con los parámetros del Viento Solar. El objetivo de este estudio es analizar distintos aspectos que afectan el medio ambiente geosistémico donde se desarrolla la actividad del hombre, su escala espacial y temporal.

ANALISIS DE LOS DATOS Y RESULTADOS

Para este estudio, los datos del potencial caño-suelo fueron provistos por la empresa LOXX Service indicando que el mismo es para un estudio experimental sobre inducción en cañerías con revestimiento con pintura epoxi de protección a la corrosión. La información consiste de potencial registrado cada 1 minuto a campo abierto en una cañería enterrada de una longitud de aproximadamente 8000 metros en la zona de Quilmes (lat.: -34º 40’ Sur; long.: 301º 40’) provincia de Buenos Aires. Estos registros fueron comparados con los del campo magnético registrado en el Observatorio Magnético de Las Acacias (LAS), dependiente de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la UNLP. El intervalo de estudio comprendió los meses de Novienbre y Diciembre de 2006, y Enero de 2007.

Se seleccionó la tormenta magnética del 14 de diciembre de 2006 como la más importante para determinar su relación con los parámetros de velocidad y densidad del Viento Solar, registrados por la Sonda ACE. Finalmente se determinaron funciones de ajuste para las amplitudes absolutas,

y valores máximos y mínimos, cada 48 horas, del potencial y de la Intensidad Total F, tomados a intervalos sucesivos de 3 horas en todo el registro.

Las figuras 3, 4 y 5, muestran los registros de la Intensidad Total F del Campo Magnético en LAS y del Potencial V en la cañería. Se marcaron con las letras A, B, C y D los intervalos más perturbados producidos por tormentas magnéticas. La relación con la climatología espacial se observa en la figura 6, donde se relacionan la velocidad y densidad del Viento solar, amplitud de la Intensidad Total de campo F en LAS, y amplitud del Potencial V, para la tormenta del 14 de Diciembre de 2006

Las amplitudes máximas de V y de F se producen en intervalos menores o iguales de 48 horas. Para ello se analizaron las amplitudes promedio del Potencial V y de F utilizando una ventana móvil de 48 horas de amplitud cada 3 horas, en todo el intervalo de registro del potencial y de F.

Se determinaron tres funciones de ajuste de las amplitudes cada 48 horas, lineal, logarítmica y potencial, que representen la relación de las variaciones de V respecto de F a sumar ó a restar de la tendencia del potencial V en el intervalo de registro, dada por la expresión calculada a partir de V como una función del tiempo:

$$V(mV) = -1425.1(mV) + 136.4\left(\frac{mV}{año}\right)(T - 2006.0)(año) \pm \frac{1}{2}\delta V(mV)$$

Las tres expresiones, cuyas gráficas se muestran en la figura 7, son las siguientes:

Recta: (1) $\delta V\ (mV\ ) = -12\ .9747\ + 9\ .3378\ \left(\delta F\ (nT\ )\right)$, para $\delta F \geq 20nT$

Logarítmica: (2) $\delta V(mV) = -1364.3 + 1091.1\log\left(\delta F(nT)\right)$, para $\delta F \geq 20nT$

Función Potencial: (3) $\delta V(mV) = 14.316\left(\delta F(nT)\right)^{0.8695}$, para $\delta F \geq 20nT$

La tabla 1 muestra las amplitudes para los valores de δV para escalas de 50 nT en δF, donde los valores para 300 nT y 350 nT de amplitud nos indican valores peligrosos de δV para una respuesta lineal. En rojo se marcó la región donde los valores extremos mínimos son menores que –2500 mV

La tabla 1 cumplimenta con la relación : $V(mV) = -1425.1 + 136.4(T - 2006.0) \pm 0.5\delta V$

Asimismo los valores registrados máximos y mínimos cada 48 horas fueron ajustados por funciones logarítmicas resultando dos tipos de funciones para los máximos y los mínimos, mostrados en la figura 8.

Sus expresiones están dadas por:

$$V_{MAX}(mV) = -1568.2mV + 290.6(mV/nT)\log(\delta F(nT))$$

$$V_{MIN}(mV) = -204.0mV - 800.5(mV/nT)\log(\delta F(nT))$$

estas expresiones ahora son pronunciadamente asimétricas respecto de la recta $V = -1200mV$, como lo son los valores V_{MIN} respecto de V_{MAX} .

El decrecimiento de V_{MIN} respecto de V_{MAX} en función de δF se muestra en la figura 9.

De la figura 9 se desprende que para tormentas con amplitudes de 300 nT el valor del potencial mínimo será casi 2.6 veces el valor de amplitud del potencial máximo alcanzado en un intervalo de 48 horas. Sin embargo del cociente de V_{MIN}/V_{MAX} a partir de los datos, encontramos que para $\delta F = 140nT$, ya se tienen valores de 2.6 y de 2 para $60 < \delta F < 80$, como valores máximos.

Esto nos indica una vez más un comportamiento asimétrico de las observaciones, producto del efecto de la actividad de las tormentas magnéticas y en especial del efecto de la corriente anillo, que tiende a producir un pronunciado decrecimiento de F en esta región.

Un aspecto importante tambien es la sensibilidad del potencial inducido en la cañería a las pequeñas perturbaciones que se producen en el viento solar y en el observatorio magnético de Las Acacias. Esto se evidencia en la figura 10, donde se observa y remarcan las respuestas del potencial cañería-suleo y del campo magnético a los impulsos en la densidad y velocidad del viento solar, confirmando la conexión Sol-Tierra como un macro sistema integrado.

CONCLUSIONES

Del análisis realizado con los registros del potencial en la cañería enterrada, se desprende que la actividad perturbadora registrada en el potencial espontáneo V (mV) está en correlación con las perturbaciones en la intensidad total F del Campo Magnético registrado en Las Acacias. Ambos registros muestran una marcada relación con la variable geoefectiva del VVS (velocidad del Viento Solar). Las funciones calculadas permiten identificar para las variaciones de la amplitud de la intensidad F del campo magnético distintos umbrales de variabilidad del potencial V.

La tabla 1 y la figura 9, son un resultado aplicable para pronosticar futuros eventos de inducción en cañerías, según se comporte la amplitud de la perturbación magnética. Un mejor ajuste sería posible si se dispondría de por lo menos 1 año de registro contínuo en las cabeceras de dicha cañería, lo que facilitaría notablemente determinar los umbrales de los valores máximos y mínimos del potencial inducido en función de δF y definir mejor aún la función que la represente. Asimismo, la sensibilidad de la red de cañerías a los cambios de F será útil para definir niveles de relación señal/ruido.

REFERENCIAS

Bothmer V and Daglis LA, (2007), *Space Weather Physics and Effects. Pp 1-438.*

Campbell WH, (2003), *Introduction to Geomagnetic Fields. 2nd Ed. Cambridge Univ. Press. Cambridge:1-337.*

Gianibelli JC, Quaglino N y Mac William M, (2006), *Efectos de las ondas de choque en los registros digitales de Trelew. GEOACTA VOL 31, pp. 91-100.*

Gummow RA, Boteler DH & Trichtchenko L, (2002), *Telluric and Oceanic Current Effects on Buried Pipelines and Their Cathodic Protection Systems. Pipeline Research Council International, Inc. Technical Toolboxes, Inc., Houston. Texas:1-148.*

Lilensten J, (2007), *Space Weather, research towards application in Europe. Springer Berlin. Pp. 1-330.*

Merril R, Mc Elhinny MW and Mc Fadden PL, (1998), *The Magnetic Field of the Earth, Academic Press. N. Y.*

Parker ME and Peattie EG, (1999), *Pipeline corrosion and cathodic protection. Gulf Professional Pub. Pp. 1-166.*

Parkinson WD, (1983), *Introduction to Geomagnetism. Scotish Academic Press- edimburgh. Pp.1-433.*

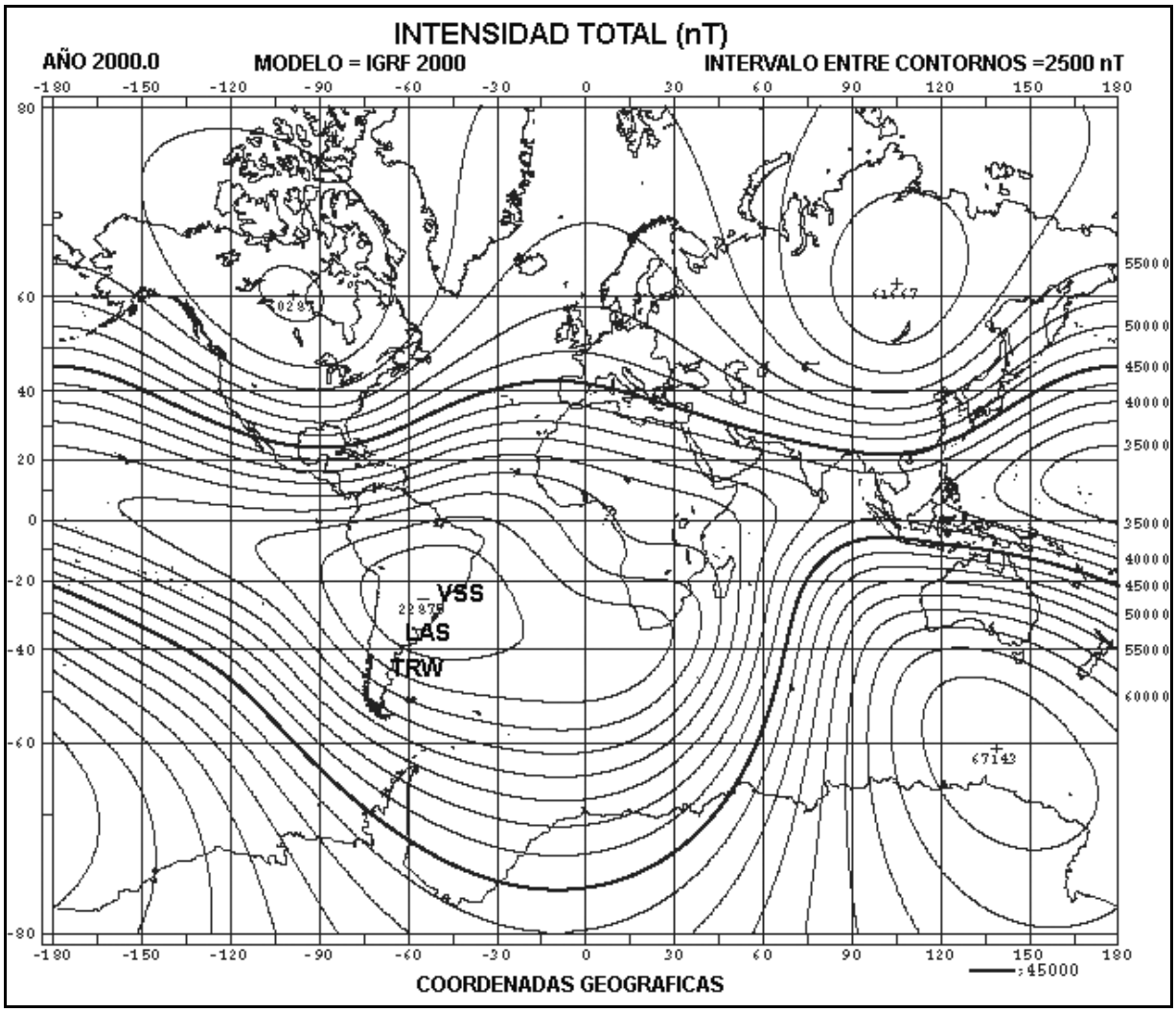

Figura 1: Mapa de las isolíneas de F y ubicación de la Anomalía del Atlántico Sur.

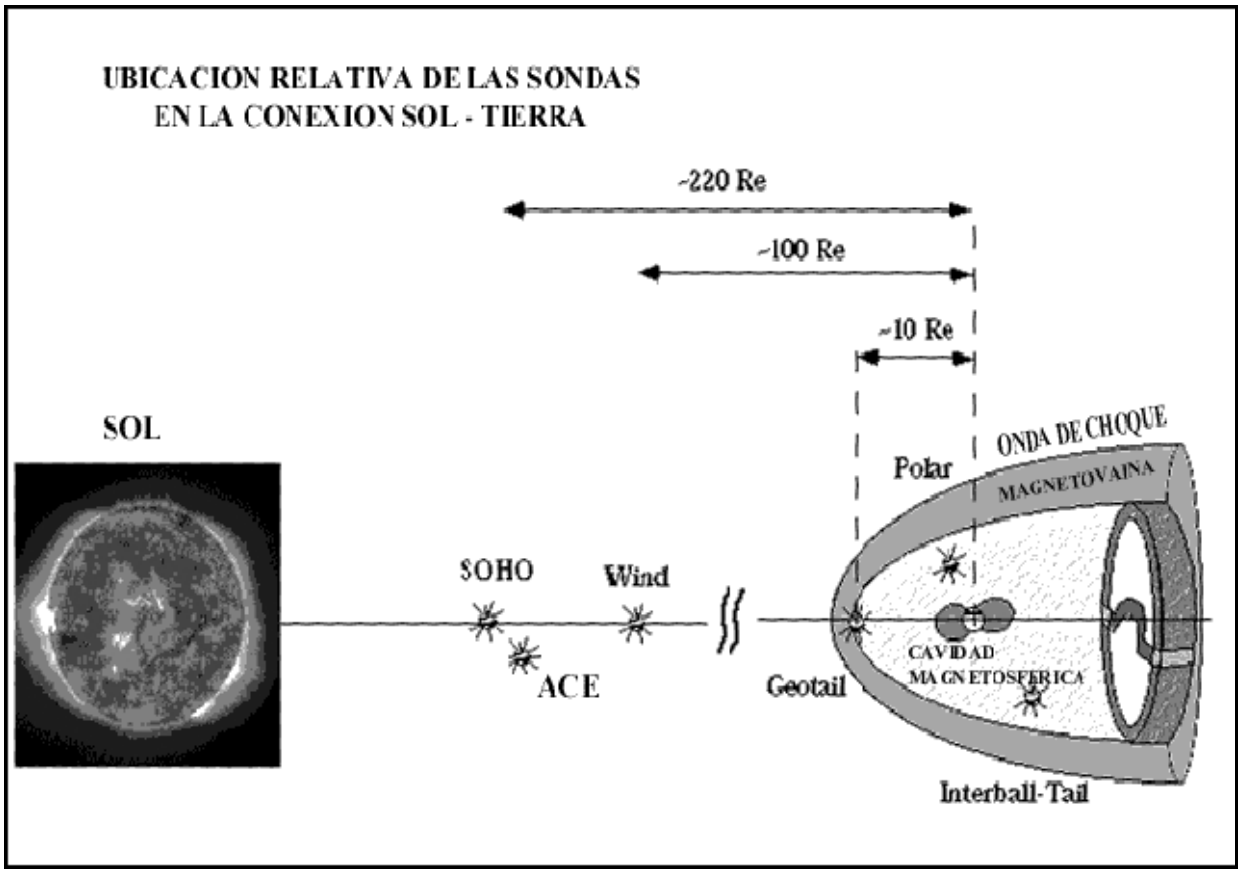

Figura 2: Constelación de sondas para el estudio de la conexión Sol-Tierra.

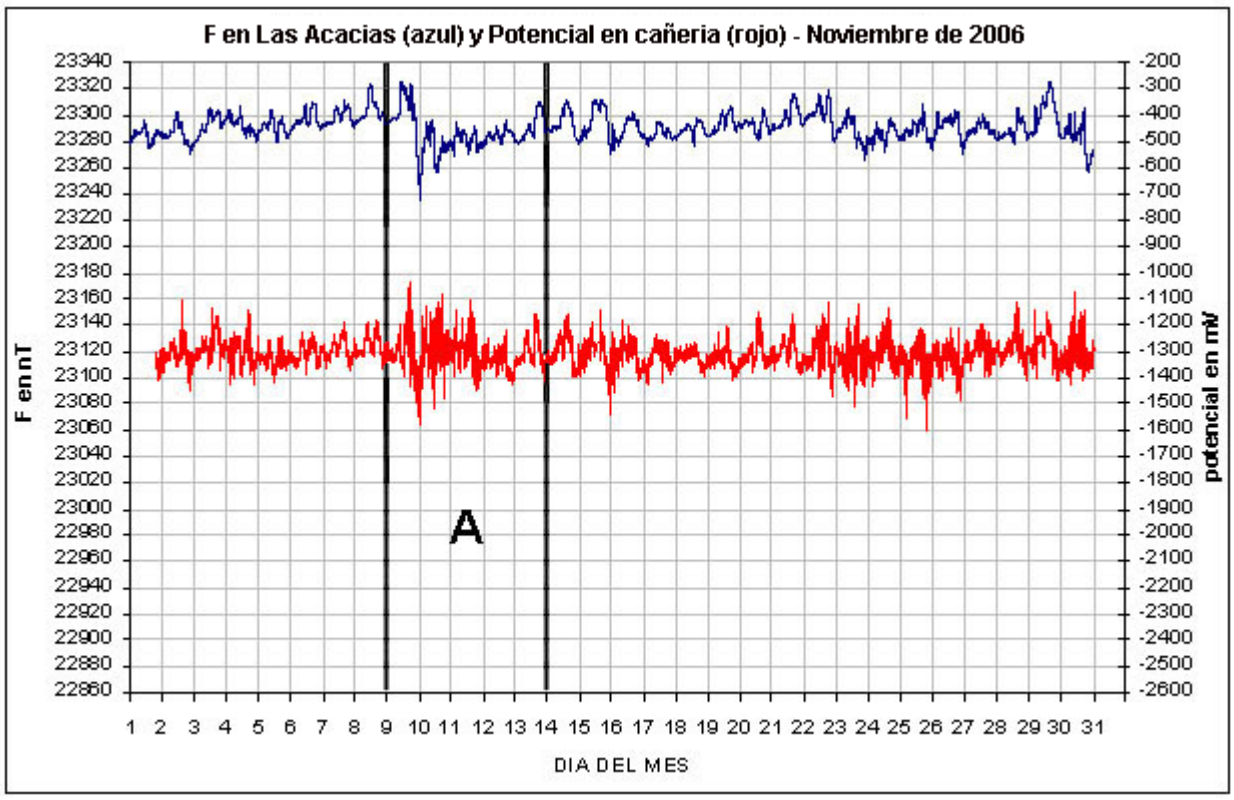

Figura 3. Registro de F y V, mes de Noviembre de 2006.

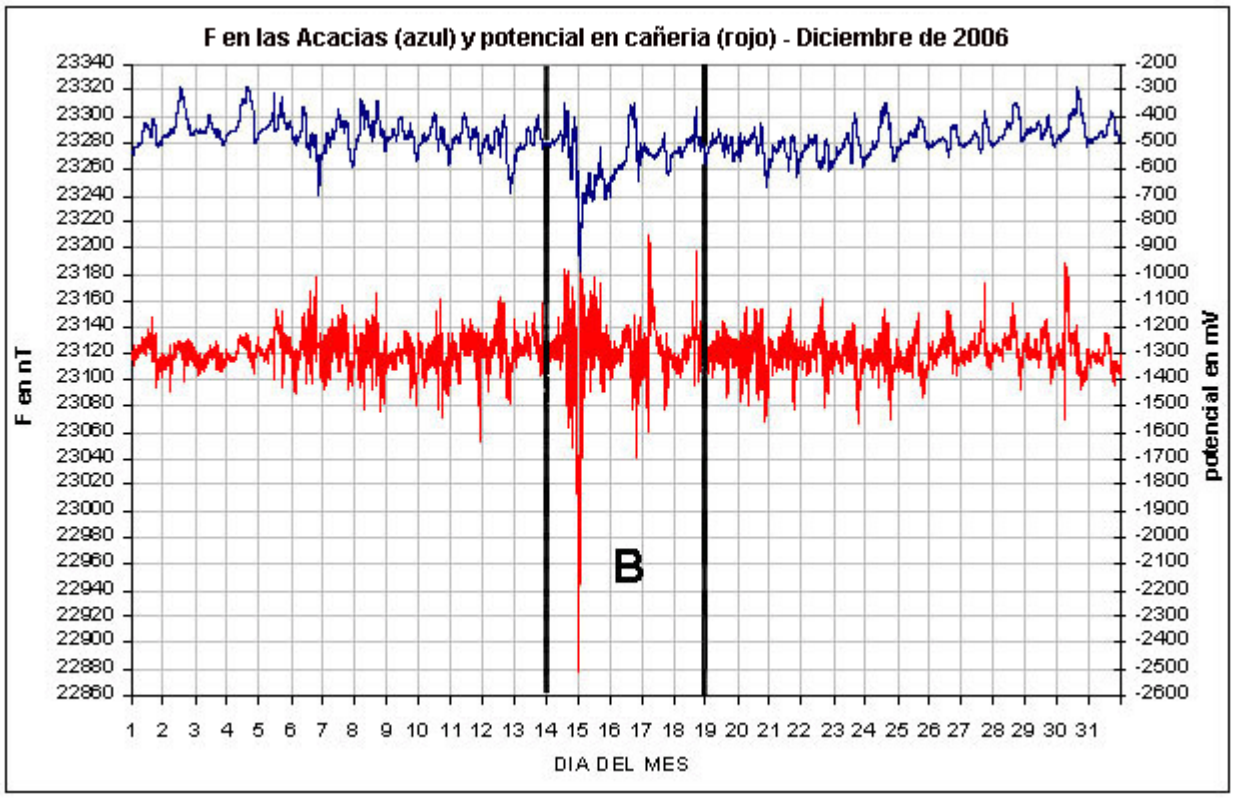

Figura 4: Registro de F y V, mes de Diciembre de 2006.

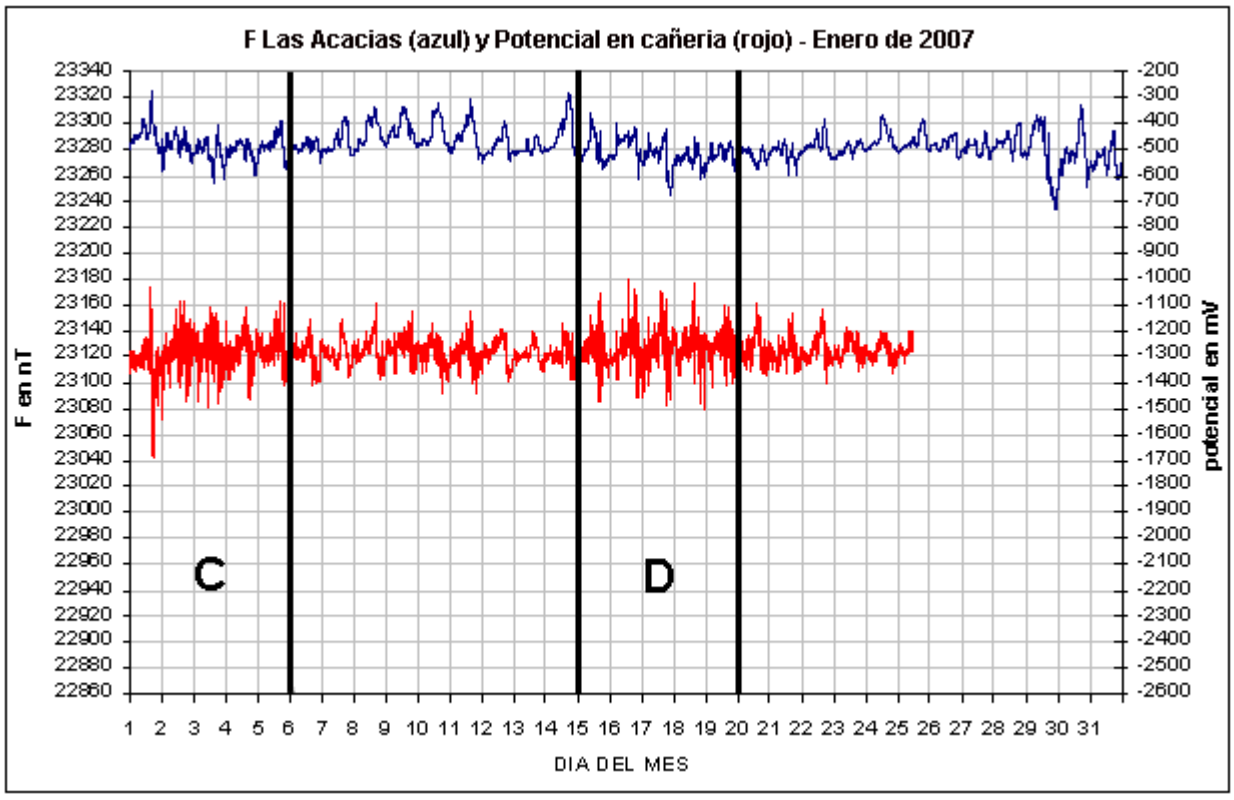

Figura 5: Registro de F y V, mes de Enero de 2007.

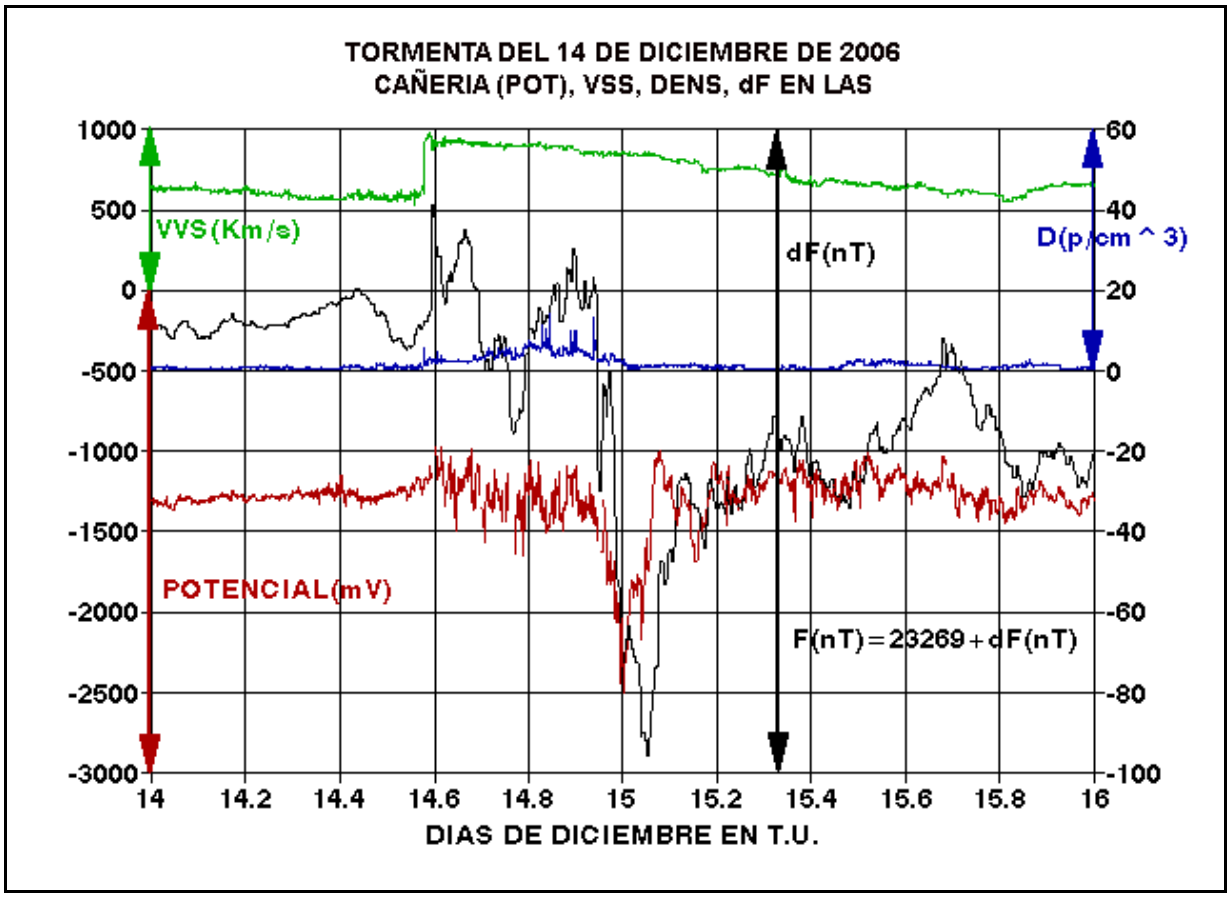

Figura 6: Efecto de una perturbación en el Viento Solar sobre F y V.

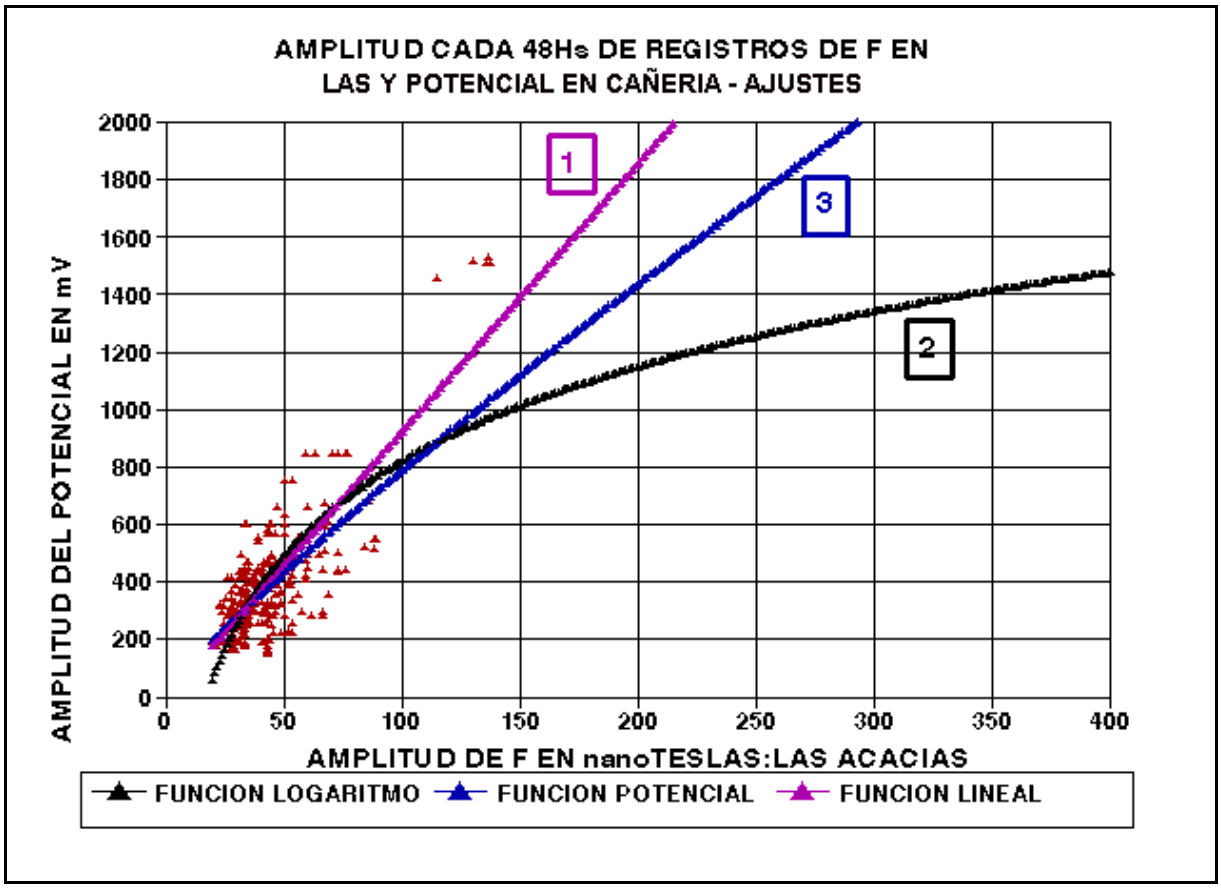

Figura 7: Funciones de ajuste.

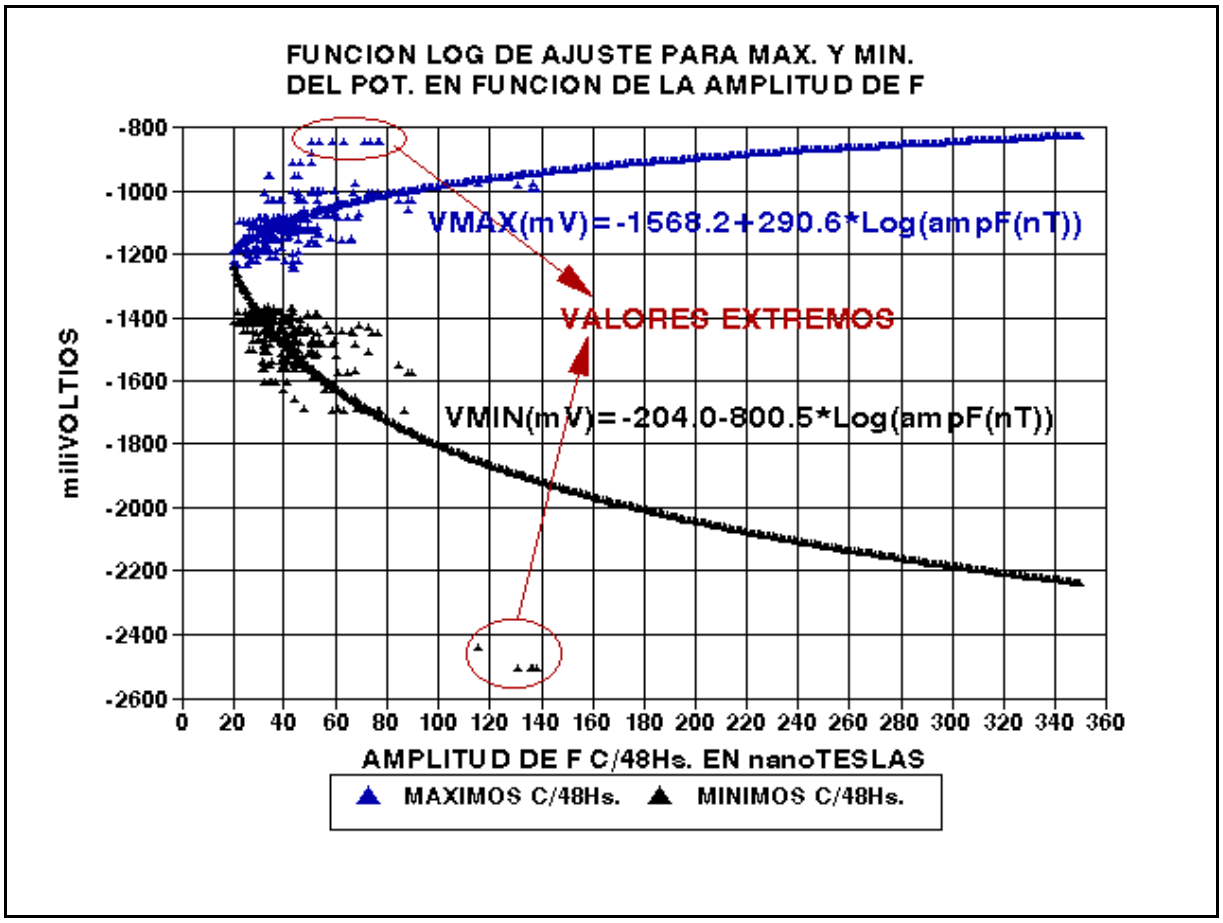

Figura 8: En esta figura se observa el efecto de inducción creciente con la amplitud de F.

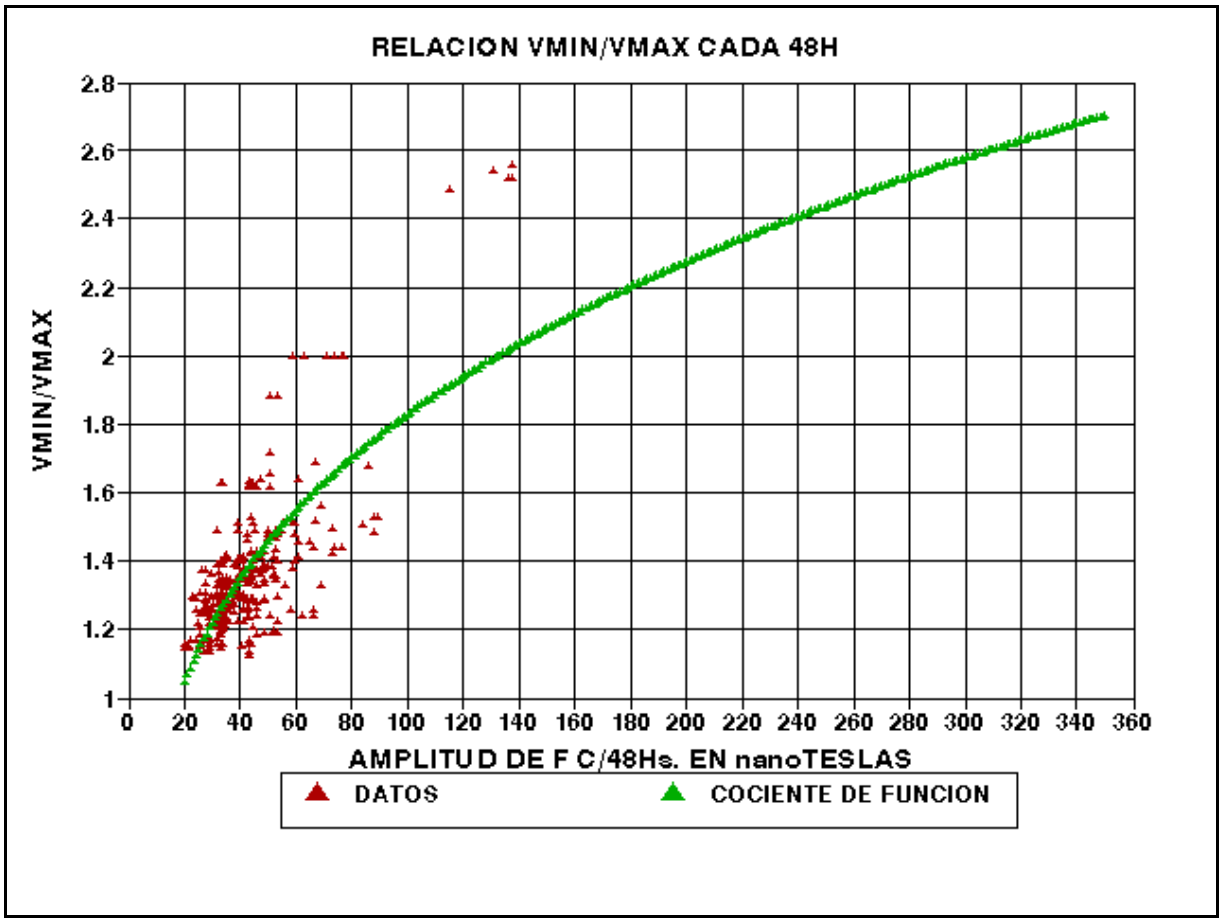

Figura 9: Esta relación muestra la respuesta de la cañería a las amplitudes de F.

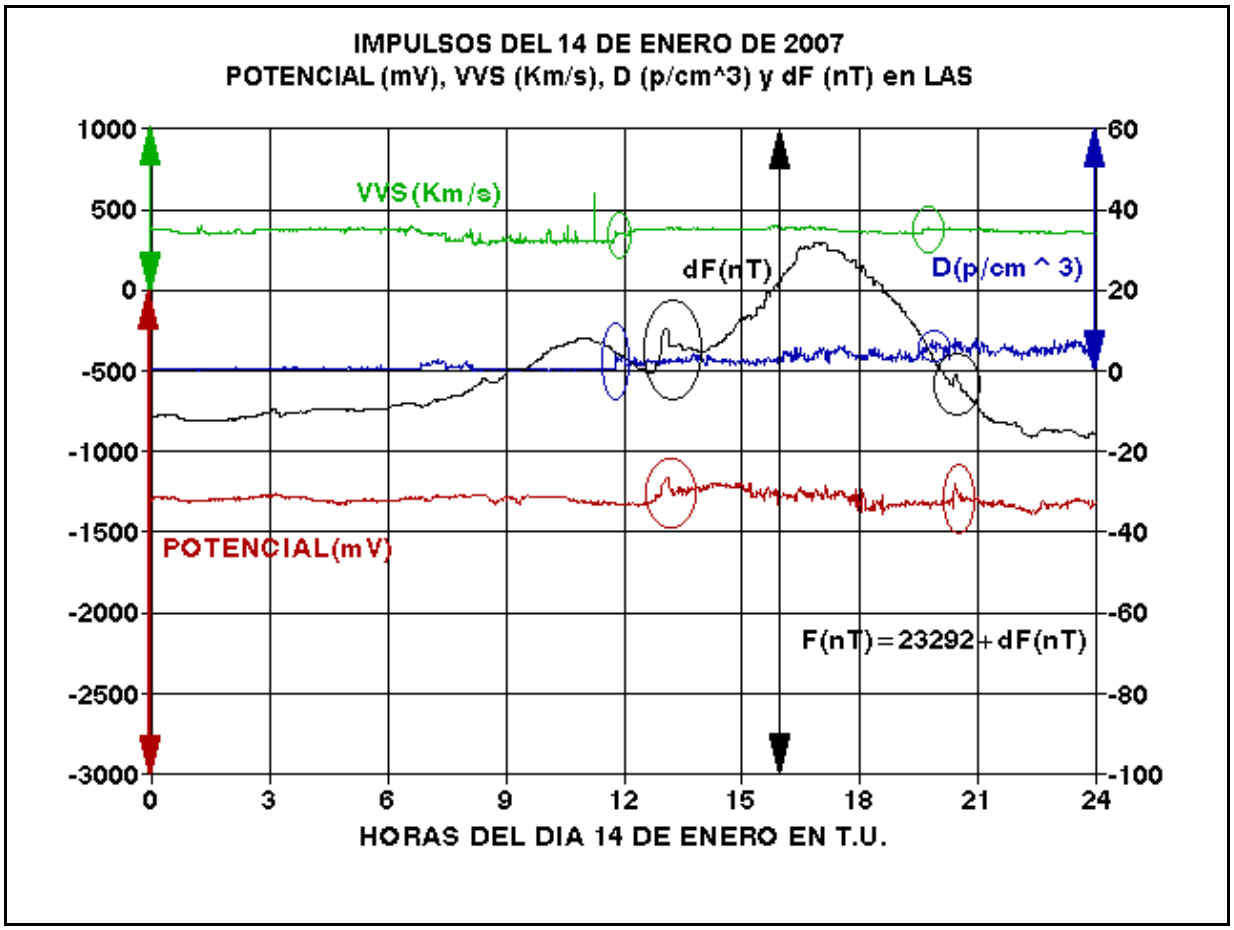

Figura 10: Efectos de los eventos bruscos en VVS y D registrados en F y V, en un día magneticamente calmo.

δF	(1)Recta	(2)logarítmica	(3)potencial
nT	δV(mV)	δV(mV)	δV(mV)
50	454	490	430
100	921	818	785
150	1388	1010	1117
200	1855	1146	1434
250	2322	1252	1741
300	2788	1338	2040
350	3255	1417	2333

Tabla 1