

VERIFICACION de INTERFERENCIAS CORRIENTES PARASITAS GEOMAGNETICAS

AUTORES

RICARDO DOVICO
JULIO C. GIANIBELLI
NICOLÁS QUAGLINO

LOXX SERVICE SRL
UNLP_ FACULTAD DE CIENCIAS ASTRONOMICAS Y GEOFISICAS
UNLP_ FACULTAD DE CIENCIAS ASTRONOMICAS Y GEOFISICAS



**CONFERENCE 2007 INSPECTION&INTEGRITY
SAUTH AMERICA**

CONTENIDO

INTRODUCCION	3
ORIGEN DEL REQUERIMIENTO DE ESTUDIO	4
INTRODUCCION A LOS PROBLEMAS DE INTERFERENCIA	4
LAS FUENTES DE INTERFERENCIA PUEDEN SER:	4
ESTUDIOS - PRIMERAS ESTIMACIONES	5
CÓMO LAS VARIACIONES GEOMAGNETICAS AFECTAN LAS TUBERÍAS	5
COMO SE DESARROLLO DEL ESTUDIO	6
DESCRIPCION DE LAS MEDICIONES:	6
REGISTROS DE CAMPO DE POTENCIALES CATODICOS:	6
CHEQUEO DE LAS AISLACIONES DIELECTRICAS	6
VERIFICACIÓN DE SISTEMAS DE P. CATÓDICA DE TERCEROS	7
INFLUENCIA GEOMAGNETICA	7
INTERFERENCIAS	8
ORIGEN DE LA INTERFERENCIA	8
PRIMERAS ESTIMACIONES	8
CÓMO LAS VARIACIONES GEOMAGNETICAS AFECTAN LAS TUBERÍAS	8
DESARROLLO DE TAREAS PARA ESTUDIO DE LA INTERFERENCIA	9
CHEQUEO DE LAS AISLACIONES DIELECTRICAS	9
IDENTIFICAR LA FUENTE DE LA INTERFERENCIA	9
VERIFICACIÓN DE SISTEMAS DE P. CATÓDICA DE TERCEROS	10
GEOMAGNETISMO	10
EFECTOS DERIVADOS - INDUCCIÓN DIURNA	11
EFECTOS DERIVADOS - DE LA MAREA Y EFECTO DE LA COSTA	11
MEDICION DE LA ALTERACION DEL CAMPO MAGNETICO	12
QUE PROBLEMAS PUEDEN DARSE	12
PROBABILIDAD DE CORROSION	12
PROBABILIDAD DE DAÑOS SOBRE EL REVESTIMIENTO	12
PRIMERAS ESTIMACIONES DEL ESTUDIO	12
REGISTROS RECOGIDOS EN CAMPO	12
CONCLUSIONES	15
MEDIDAS PALIATIVAS SUGERIDAS	15
RECOMENDACIONES (APLICACIÓN SISTEMAS INTERFERIDOS)	16
COMPENSACION DE LAS VARIACIONES DEL POTENCIAL	16
MITIGACION DE LOS EFECTOS TELÚRICOS	18
PUESTAS A TIERRA	18
PROTECCIONES CATÓDICAS USANDO DIFERENTES SISTEMAS	18
SISTEMAS CON ANODOS DE SACRIFICIO	19
SISTEMAS DE CORRIENTE IMPRESA	19
INTRODUCCION	20
METODOLOGIA DE TRABAJO	21
ANALISIS DE LOS RESULTADOS	22
CONCLUSION	26
CONCLUSION	26

El objeto de este trabajo es analizar los fenómenos de interferencias eléctricas verificados en los potenciales de protección catódica del gasoducto Cruz del Sur en el tramo Punta Lara – Santa Ana.

INTRODUCCION

GASODUCTO CRUZ DEL SUR opera actualmente el gasoducto de transmisión de gas natural desde Punta Lara (Argentina) hasta la ciudad de Montevideo (Uruguay) atravesando el Río de la Plata, siendo British Gas es el operador técnico del gasoducto.



Desde Punta Lara, el gasoducto tiene un tramo subfluvial de 55.44 Km. bajo el lecho del Río de la Plata (*). En Uruguay, el ducto continúa desde Santa Ana (22 Km. de Colonia), hasta Montevideo abasteciendo a distintos consumos a lo largo de los 145 Km. de longitud.

(*) Características del tramo fluvial

Longitud:	55.400 metros
Longitud Costa Argentina:	170 metros (*)
Longitud Costa Uruguay:	1.600 metros (*)
Longitud sumergida:	53.630 metros (*)

(*) *longitud aproximada (variables con la marea)*

Cañería

Grado:	API 5LX 65
Diámetro:	0,610 m (24")
Espesor:	12.70 – 12.93 y 21.54 mm
Protección Catódica:	Sistema de corriente impresa en Santa Ana.
Revestimiento exterior:	PE Tricapa (3 mm) gunitado /zona fluvial
Revestimiento interno:	Epoxy 50/100 micrones

ORIGEN DEL REQUERIMIENTO DE ESTUDIO

Al realizar el personal técnico responsable de la operación y mantenimiento del gasoducto las mediciones rutinarias de verificación de los niveles de protección catódica en la zona del cruce subfluvial (tramo Punta Lara - Santa Ana) detectó y reporto la existencia de fluctuaciones en los valores del potencial medido

Ante esta situación GCS requirió a LOXX Service un estudio que permitiera determinar el origen de las interferencias, la magnitud del problema y las medidas de remediación necesarias en el caso que así se requiriera.

El resultado del estudio no indica problemas de corrosión sobre el sistema

INTRODUCCION A LOS PROBLEMAS DE INTERFERENCIA

Las cañerías de acero enterradas son el medio más difundido en el mundo para el transporte de hidrocarburos, su importancia hace que su protección fundamentalmente contra los daños de la corrosión tome una importancia cada vez mayor.

Las cañerías que forman parte de los sistemas de transporte son protegidas a través de un revestimiento que constituye una barrera aislante para evitar los procesos electroquímicos de corrosión. Estos revestimientos se emplean conjuntamente con un sistema de protección catódica suplementario que actúa en aquellos sitios donde falla el revestimiento (imperfecciones, roturas y/o envejecimiento)

Para verificar el nivel de protección sobre la cañería se utiliza como referencia la medición del potencial eléctrico caño-medio.

Si durante estas mediciones se verifican variaciones en el nivel de potencial que se está midiendo, indudablemente esto esta denotando la existencia de algún tipo de interferencia, por lo que y de acuerdo a las normativas vigentes deberán investigarse en origen y magnitud.

LAS FUENTES DE INTERFERENCIA PUEDEN SER:

- 1 De origen natural: interferencia geomagnética (corrientes telúricas)
- 2 De origen no natural: Por influencia de sistemas construidos por el hombre tales como sistemas de protección catódica de terceros, sistemas de transmisión eléctrica en alta tensión, ferrocarril eléctrico, etc.)

En este punto vale aclarar que en líneas con buen revestimiento, pequeñas corrientes de interferencia pueden causar fluctuaciones importantes en el potencial de la misma, en cambio una cañería desnuda probablemente jamás mostraría niveles de interferencia o serían despreciables, aunque se vería severamente afectada por procesos corrosivos.

Hoy en día debido al incesante desarrollo y aparición de nuevos productos, los revestimientos empleados para la protección de las cañerías presentan elevados

valores de aislación eléctrica (superiores a 100.000 ohm x m²)

ESTUDIOS - PRIMERAS ESTIMACIONES

Las mediciones y registros preliminares llevaron a orientar la investigación hacia un fenómeno de origen natural, profundizándose los estudios relativos a la interferencia de origen geomagnético (GIC - Geomagnetically Induced Currents).

Históricamente estos efectos fueron consideradas una curiosidad y un inconveniente a la hora de los relevamientos, pero debido fundamentalmente a la mejora en la calidad de los revestimientos a la construcción en latitudes altas (el gasoducto TransAlaska fue un punto de referencia a estos estudios) adquirió la relevancia actual

CÓMO LAS VARIACIONES GEOMAGNETICAS AFECTAN LAS TUBERÍAS

Las variaciones del campo magnético terrestre inducen corrientes eléctricas (telúricas) en la superficie terrestre (suelo / agua) que se desplazan por la misma interfiriendo de diferente manera a las instalaciones metálicas que se encuentran dentro de su recorrido y que por sus características (buena conductividad) posibilitan un camino de baja resistencia.

Las cañerías de acero proporcionan un medio óptimo para el desplazamiento de estas corrientes dada su baja resistividad eléctrica específica (2 ohm cm contra un valor medio representativo del suelo de 4000 ohm cm).

Estas corrientes son variables en el tiempo y generan sobre las cañerías, variaciones de los potenciales catódicos, haciendo difícil en algunos casos controlar y/o mantener los mismos en la zona de seguridad.

La magnitud de los potenciales geo eléctricos no sólo es una función de la dirección y magnitud del campo eléctrico inducidos (actividad geomagnética), sino también es directamente dependiente de:

- Longitud de la cañería
- Resistencia a la tierra, la cual depende de:
 - Características del terreno.
 - Tipo y calidad del revestimiento (valor de resistencia de cobertura).
- Orientación de la cañería.
- Latitud de la instalación (*)
 - *Los efectos son más pronunciados en las latitudes norte y sur para líneas cuyas trazas van cruzando distintas latitudes*
- Cambios abruptos en la resistividad del medio
- Proximidad a la costa marítima
- otros.

Terrenos arcillosos o de baja resistividad suelen favorecer el desarrollo y

canalización de estas corrientes (son muy importantes en líneas offshore, debido a la gran conductividad del agua de mar) siendo su influencia y efectos menores para suelos arenosos o de alta resistividad.

COMO SE DESARROLLO DEL ESTUDIO

El desarrollo del estudio incluyó las siguientes etapas y/o actividades:

- 1 Registros de potenciales caño / suelo en algunos puntos críticos y verificaciones complementarias.
- 2 Evaluación de la magnitud y nivel de interferencia.
- 3 Estudios y mediciones complementarias.
- 4 Análisis de toda la información.
- 5 Determinación del origen y causa de la interferencia.
- 6 Evaluación de probables daños y/o riesgos a partir e la interferencia.
- 7 Evaluación de medidas de mitigación que pudieren ser necesarias.

DESCRIPCION DE LAS MEDICIONES:

Se instalaron y registraros los potenciales en ambos extremos de la linea co durante un periodo suficiente para el análisis

Además de estos registros se llevaron a cabo mediciones y/o verificaciones complementarias:

REGISTROS DE CAMPO DE POTENCIALES CATODICOS:

Los métodos para el estudio de las corrientes parasites de cualquier índole requiere de la instalación de Colectores de Datos estacionarios (data loggers que utilizan un cronometro GPS para posibilitar la comparación y análisis posterior) en puntos críticos de la línea bajo estudio (se sincronizaron todos los sistemas de registros a través de un sistema GPS - Global Positioning System). El mismo método es empleado en un software que permite la corrección de los potenciales para cada una de las lecturas

Se registraron en forma continua los potenciales de protección catódica del gasoducto (1 medición cada 30 segundos durante aproximadamente 90 días), a través de sistemas digitales de adquisición de datos (A/D datalogger). Se hicieron registros en ambas márgenes (Santa Ana y Punta Lara) a fin de posibilitar un análisis total del problema.

Para igual periodo, se colectaron a través de la Universidad Nacional de La Plata registros de actividad solar (magnetogramas), lo que permitió el análisis conjunto posterior de ambos registros.

CHEQUEO DE LAS AISLACIONES DIELÉCTRICAS

Se verificaron las separaciones dieléctricas del gasoducto de otras instalaciones aguas arriba y aguas abajo del tramo bajo estudio con el objeto de asegurar una

influencia nula de esos sectores sobre el tramo de cañería bajo estudio (ambas funcionaban correctamente).

VERIFICACIÓN DE SISTEMAS DE P. CATÓDICA DE TERCEROS

Se analizó la influencia de sistemas de protección catódica cercanos, pero no incluidos en el tramo bajo estudio. Se hicieron mediciones ON/OFF, no detectándose ninguna influencia (se registraron variaciones $<$ a 5mV propias de cambios geo eléctricos en el terreno circundante)

El estudio se completó con un relevamiento CIS en ambas costas o zonas de acometida onshore (se utilizaron interruptores sincronizados con GPS al igual que los datalogger usados para registrar los datos de campo).

INFLUENCIA GEOMAGNETICA

Para el análisis de los datos específicos de actividad geomagnética se celebró un Convenio de Asistencia Técnica con el DEPARTAMENTO DE GEOMAGNETISMO de la FACULTAD DE CIENCIAS ASTRONÓMICAS Y GEOFÍSICAS DE LA PLATA, como ente rector en este tema en la Argentina.

A través de este convenio, se hicieron evaluaciones conjuntas con especialistas del la Universidad, considerando los registros de potenciales conjuntamente con los registros de actividad magnética.

Los registros de actividad geomagnética empleados para el estudio se representan en forma de registros continuos denominados magnetogramas.

MEDICIÓN DEL CAMPO ELÉCTRICO EN EL TERRENO



La presencia de campos eléctricos circulantes por el subsuelo representa un agravante en los factores de corrosividad para estructuras metálicas enterradas, dispongan, o no, de sistemas activos o pasivos de Protección Catódica. La determinación de la existencia y magnitud de campos eléctricos se realizó determinando el gradiente de potencial en el terreno, empleando una disposición de 2 electrodos, ubicados a una distancia fija, determinándose el valor del gradiente en mV/m.

Para este tipo de análisis de protección catódica, se considera en base a valores experimentales adoptados por la industria, lo siguiente:

- campos eléctricos débiles : $<$ 0,5 mV/m
- medianamente intensos : entre 0,5 y 5,0 mV/m
- intensos : $>$ 5 mV/m.

Los valores medidos resultaron en promedio $<$ 0,5 mV/m, o sea se los podría

caracterizar como débiles. Aunque su carácter fluctuante en determinadas circunstancias podría alcanzar valores superiores (no se comprobó).

INTERFERENCIAS

ORIGEN DE LA INTERFERENCIA

En cañerías de gran longitud pueden darse importantes variaciones en los valores medidos del potencial de protección catódica. En líneas con buen revestimiento, pequeñas corrientes de interferencia pueden causar fluctuaciones importantes en el potencial de la misma, en cambio una cañería desnuda probablemente jamás mostraría niveles de interferencia o serían despreciables, aunque se vería severamente afectada por procesos corrosivos.

Las fuentes de interferencia pueden ser:

- Origen natural: interferencia geomagnética (corrientes telúricas)
- Origen no natural: Por influencia de sistemas construidos por el hombre tales como sistemas de protección catódica de terceros, sistemas de transmisión eléctrica en alta tensión, ferrocarril eléctrico, etc.)

PRIMERAS ESTIMACIONES

Las mediciones y registros preliminares llevaron a orientar la investigación hacia un fenómeno de origen natural, profundizándose los estudios relativos a la interferencia de origen geomagnético (GIC - Geomagnetically Induced Currents).

CÓMO LAS VARIACIONES GEOMAGNETICAS AFECTAN LAS TUBERÍAS

Las variaciones del campo magnético terrestre inducen corrientes eléctricas (telúricas) en la superficie terrestre (suelo / agua) que se desplazan por la misma interfiriendo de diferente manera a las instalaciones metálicas que se encuentran dentro de su recorrido y que por sus características (buena conductividad) posibilitan un camino de baja resistencia.

Las cañerías de acero proporcionan un medio óptimo para el desplazamiento de estas corrientes dada su baja resistividad eléctrica específica (2 ohm cm contra un valor medio representativo del suelo de 4000 ohm cm).

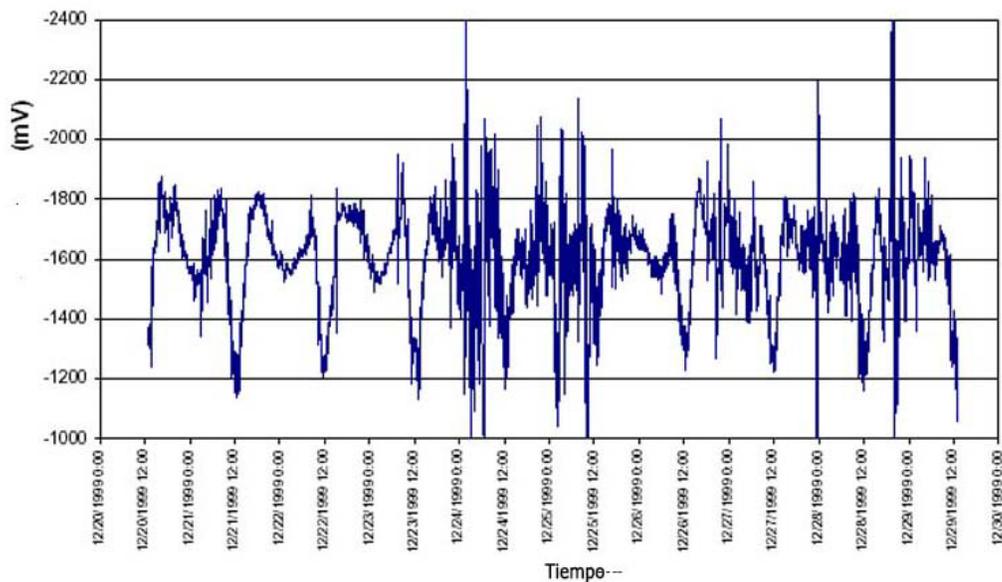
Estas corrientes son variables en el tiempo y generan sobre las cañerías, variaciones de los potenciales catódicos, haciendo difícil en algunos casos controlar y/o mantener los mismos en la zona de seguridad.

La magnitud de la interferencia generada (para iguales o similares condiciones de actividad geomagnética) depende de:

- Características del terreno.
- Tipo y calidad del revestimiento (valor de resistencia de cobertura).
- Orientación de la cañería.

Suelos de baja resistividad favorecen la aparición y canalización de estas corrientes (son muy importantes en líneas offshore, debido a la gran conductividad del agua de mar)

La figure es un ejemplo de un registro de potenciales sobre una cañería por un período de 10 días con presencia de actividad telúrico y corriente de protección catódica aplicada. Puede notarse que existen ciclos similares que se repiten cada día. Esto se atribuye a los efectos diurnos que son el resultado de la rotación de la tierra.



DESARROLLO DE TAREAS PARA ESTUDIO DE LA INTERFERENCIA

Con el objeto de lograr una total interpretación del fenómeno se desarrollaron las siguientes tareas:

CHEQUEO DE LAS AISLACIONES DIELÉCTRICAS

Se verificaron las separaciones dieléctricas del gasoducto de otras instalaciones aguas arriba y aguas abajo del tramo bajo estudio con el objeto de asegurar una influencia nula de esos sectores sobre el tramo de cañería bajo estudio (ambas funcionaban correctamente).

IDENTIFICAR LA FUENTE DE LA INTERFERENCIA

Se realizaron las mediciones, registros y/o estudios complementarios necesarios que posibilitaron una clara identificación del origen y/o fuente de las interferencias.

REGISTROS DE CAMPO

POTENCIALES CATODICOS:

Los equipos de medición solo pueden ofrecer una foto instantánea del nivel de protección del sistema, pero no pueden proveer suficiente información para certificar una adecuada protección catódica sobre el caño (cada data logger estacionario o móvil registra las coordenadas de latitud, longitud y elevación y el tiempo universal (UTC time) de cada lectura.

Los métodos para el estudio de las corrientes parasites de cualquier índole requiere de la instalación de Colectores de Datos (dataloggers) estacionarios en puntos críticos de la línea bajo estudio.

Se registraron en forma continua los potenciales de protección catódica del gasoducto (1 medición cada 30 segundos durante aproximadamente 90 días), a través de sistemas digitales de adquisición de datos (A/D datalogger). Se hicieron registros en ambas márgenes (Santa Ana y Punta Lara) a fin de posibilitar un análisis total del problema.

Para igual periodo, se colectaron a través de la Universidad Nacional de La Plata registros de actividad solar (magnetogramas), lo que permitió el análisis conjunto posterior de ambos registros.

VERIFICACIÓN DE SISTEMAS DE P. CATÓDICA DE TERCEROS

Se analizó la influencia de sistemas de protección catódica cercanos, pero no incluidos en el tramo bajo estudio. Se hicieron mediciones ON/OFF, no detectándose ninguna influencia (se registraron variaciones < a 5mV propias de cambios geo eléctricos en el terreno circundante)

El estudio se completó con un relevamiento CIS en ambas costas o zonas de acometida onshore (se utilizaron interruptores sincronizados con GPS al igual que los datalogger usados para registrar los datos de campo).

GEOMAGNETISMO

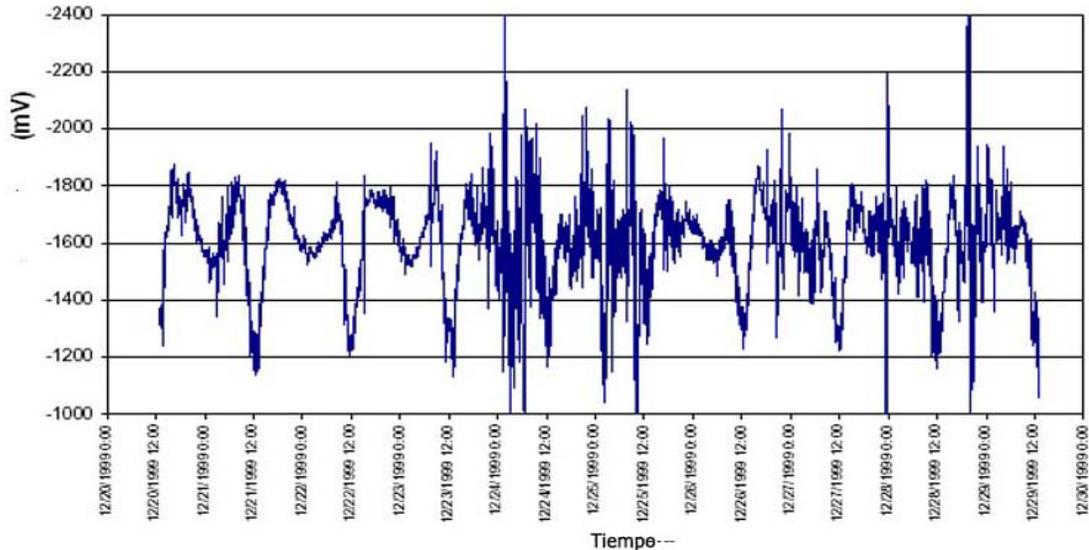
Para el análisis de los datos específicos de actividad geomagnética se celebró un Convenio de Asistencia Técnica con el DEPARTAMENTO DE GEOMAGNETISMO de la FACULTAD DE CIENCIAS ASTRONÓMICAS Y GEOFÍSICAS DE LA PLATA, como ente rector en este tema en la Argentina.

A través de este convenio, se hicieron evaluaciones conjuntas con especialistas del la Universidad, considerando los registros de potenciales conjuntamente con los registros de actividad magnética.

Los registros de actividad geomagnética empleados para el estudio se representan en forma de registros continuos denominados magnetogramas.

EFFECTOS DERIVADOS - INDUCCIÓN DIURNA

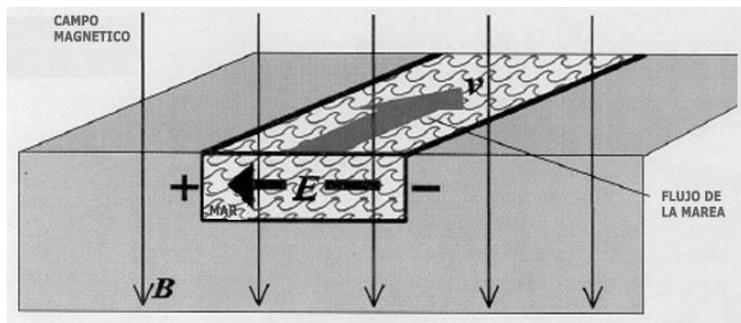
La figure es un ejemplo de un registro de potenciales sobre una cañería por un período de 10 días con presencia de actividad telúrico y corriente de protección catódica aplicada. Puede notarse que existen ciclos similares que se repiten cada día. Esto se atribuye a los efectos diarios que son el resultado de la rotación de la tierra.



EFFECTOS DERIVADOS - DE LA MAREA Y EFECTO DE LA COSTA

Es un clásico efecto de transformación de energía mecánica en energía eléctrica, por inducción electromagnética, debida al movimiento relativo de un conductor (el agua) en un campo magnético (el terrestre).

El campo eléctrico impulsa una corriente eléctrica (es decir un flujo de carga eléctrica) a través del agua de mar y produce una acumulación de carga sobre una de las costas.



Esta acumulación de carga (o disminución) incrementa el potencial eléctrico sobre los lados opuestos o costas del estrecho causando un

gradiente de potencial en la tierra y en el lecho marino bajo el cauce.

MEDICION DE LA ALTERACION DEL CAMPO MAGNETICO

Las variaciones están caracterizadas por un ciclo solar de 11 años. El último máximo ocurrió en el 2001 y el último mínimo en 1996, estando actualmente en una época de poca actividad (los ciclos no son regulares). La máxima actividad que se alcanza en cada ciclo varía de un ciclo a otro, y durante muchas décadas la actividad solar fue casi nula. Este tema lo trata ampliamente en el Anexo "A" elaborado por la *Universidad de la Plata*).

QUE PROBLEMAS PUEDEN DARSE

PROBABILIDAD DE CORROSION

La interferencia puede ocasionar corrosión al desplazar los potenciales a valores fuera del nivel mínimo de protección requerido. En estos casos la magnitud de la corrosión dependerá de cuanto se desplaza el valor de potencial y del tiempo que la cañería estará sin protección.

PROBABILIDAD DE DAÑOS SOBRE EL REVESTIMIENTO

Valores elevados de los potenciales negativos de protección catódica pueden producir rotura y/o ampollamiento del revestimiento epoxy de la cañería debajo del PE (hydrogen blistering) y/o una degradación por alcalinidad del medio.

Estos valores son basados en ensayos de laboratorio, recomendándose normalmente para el FBE (fusion bonded epoxy) no superar valores muy negativos (estos valores varían ya que la penetración de humedad a través del revestimiento es diferente para cada tipo de revestimiento).

PRIMERAS ESTIMACIONES DEL ESTUDIO

Las mediciones y registros llevaron la confirmación sobre el origen de las interferencias como producto de interferencias geomagnéticas (GIC - Geomagnetically Induced Currents).

REGISTROS RECOGIDOS EN CAMPO

El gráfico siguiente muestra las variaciones de potencial registradas para la fecha y hora indicada en ambos extremos de la línea (Por simple observación son registros en oposición de amplitud o sea desfasados 180°)

Del mismo se desprende:

1. Que hay un ingreso de corriente desde el Norte (Uruguay) y se descarga por el extremo Sur (Argentina)
2. El caño no actúa como acumulador. La corriente que ingresa al caño (aumento del potencial negativo) es idéntica a la corriente que abandona el mismo (provocando una disminución del potencial negativo).

3. El gráfico también incluye registros sobre el sistema que alimenta a GCS (es un registro totalmente amortiguado y solo muestra variaciones de tendencia)
4. Las variaciones son aleatorias y toman valores máximos de aproximadamente 250 mV en ambos sentidos con picos de 1200 mV.

El gráfico N° 3 muestra únicamente las variaciones

El gráfico N° 4 muestra el valor estimado (aproximado) de corriente interfiriente (telúrica).

Grafico N° 2

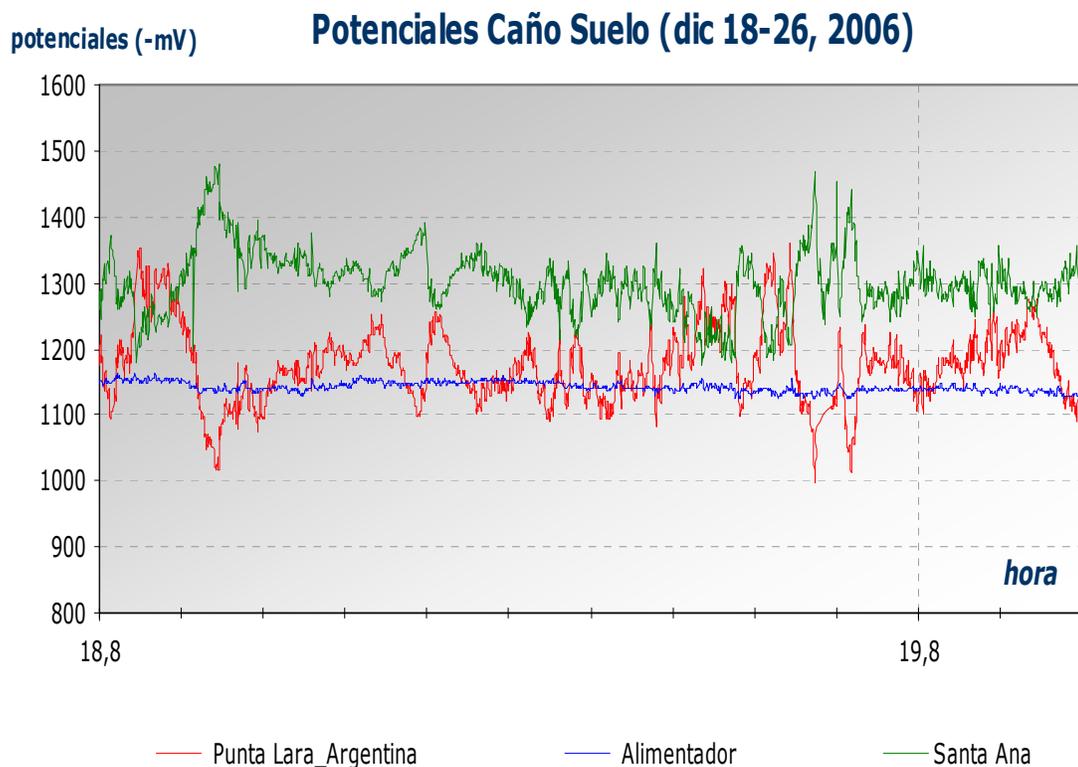


Grafico N° 3

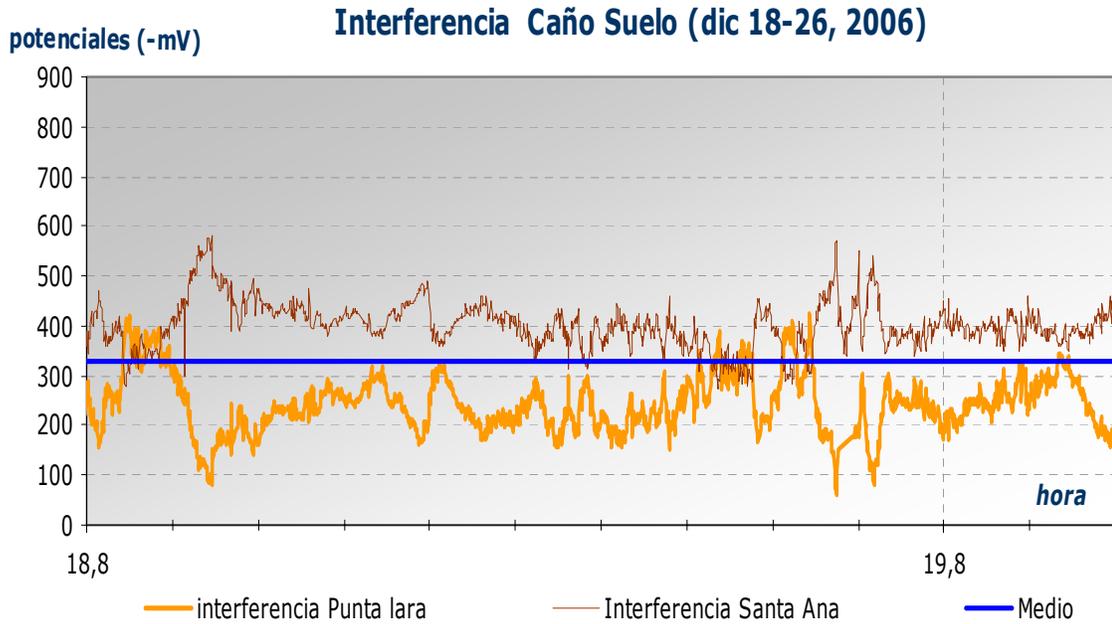
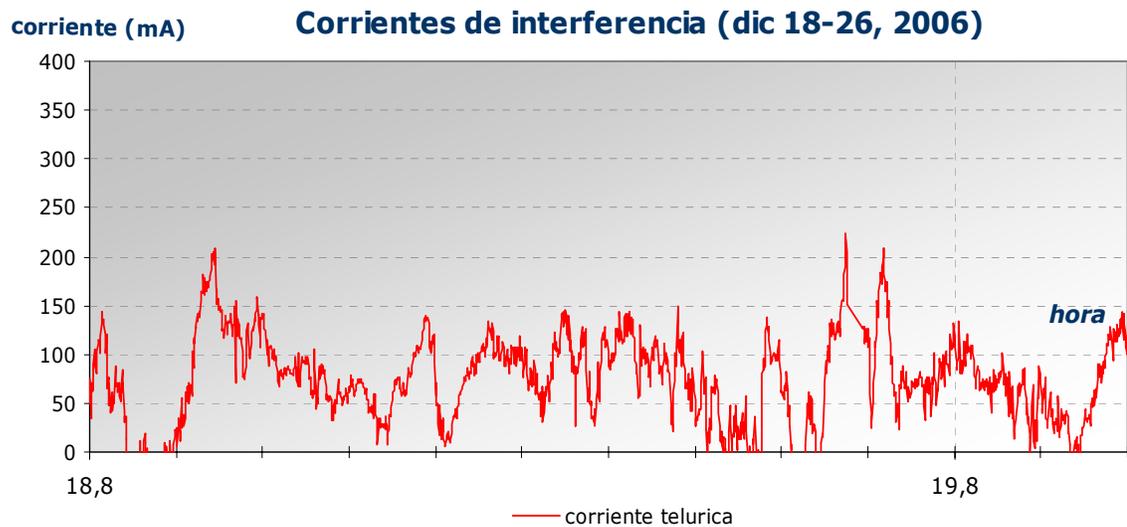


Grafico N° 4



CONCLUSIONES

Del análisis / correlación de los registros se concluye:

ORIGEN DE LAS INTERFERENCIAS

- Del análisis de los registros se verificó una total coincidencia entre las variaciones de campo magnético terrestre registradas a través del Dto. de Geomagnetismo de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Plata y las interferencias y/o variaciones detectadas en las mediciones del potencial catódica de la cañería. Esto permitió deducir el origen de las interferencias: son de origen geomagnético

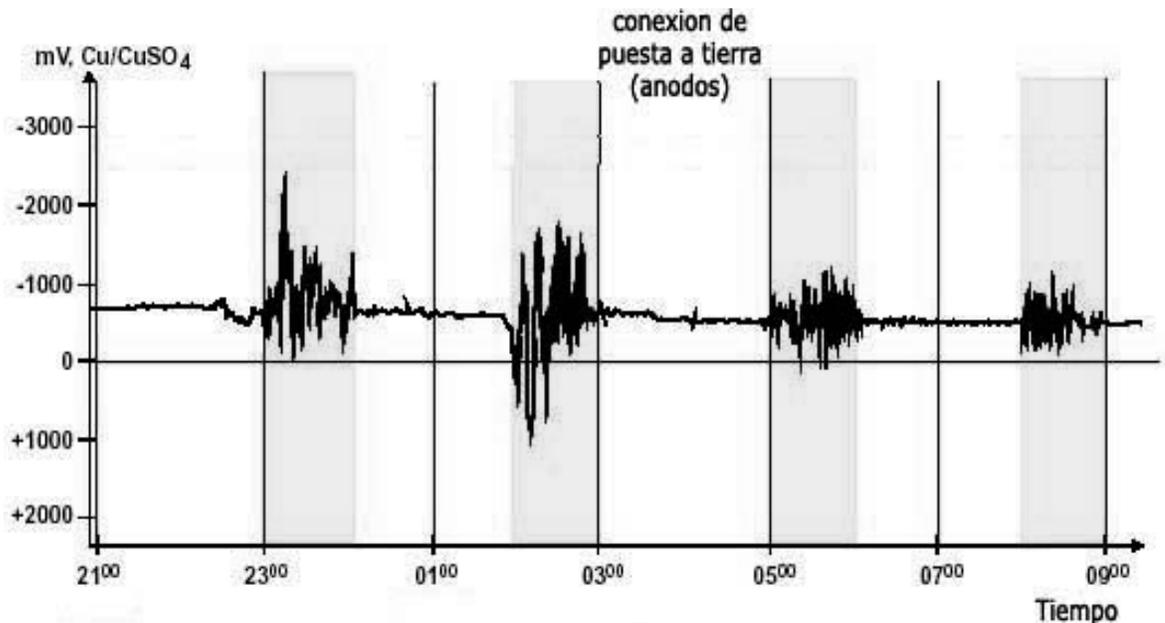
Del estudio surgen las siguientes conclusiones primarias:

- La cañería en todo momento muestra valores de potenciales superiores al mínimo requerido, lo que permite asegurar:
 - En todo momento existe una corriente neta de protección (ingresa)
 - No se considera la posibilidad de daños por corrosión

MEDIDAS PALIATIVAS SUGERIDAS

Si bien no se detectaron condiciones para el desarrollo de procesos de corrosión, las continuas variaciones del potencial hace dificultoso asegurar/ajustar el nivel de protección catódica deseado, desde que las mediciones representan valores instantáneos (variables en forma aleatoria en el tiempo), motivo por el cual se sugiere prever algún mecanismo de mitigación.

- Instalación de puestas a tierra en ambos extremos, especialmente en la zona de Punta Lara que es donde en general la corriente abandona la cañería, para posibilitar la descarga a través de la misma y no a través del caño.
- Las mismas estarán constituidas con material galvánico a los fines de preservar la protección catódica y posibilitar la descarga a niveles de potenciales dentro de la zona de protección.
- * debajo se adjunta información gráfica donde se aprecia como se resuelve y comporta la interconexión a ánodos galvánicos (el ejemplo es sobre otro sistema ajeno al acá tratado).



- No se contempla en principio la implementación de un sistema de corriente impresa de potencial constante por su mayor costo y requerimiento de mantenimiento, aunque se agrega como un elemento adicional para la toma de decisión por parte de GCS.

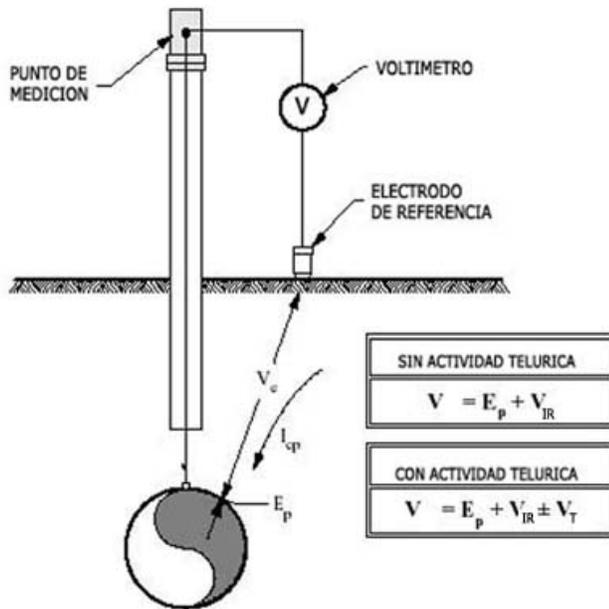
RECOMENDACIONES (APLICACIÓN SISTEMAS INTERFERIDOS)

COMPENSACION DE LAS VARIACIONES DEL POTENCIAL

Si bien se han observado las variaciones de potenciales debido a la acción de las corrientes telúricas durante muchos años, sólo recientemente se han desarrollado técnicas para compensar y anular ese efecto en las mediciones, fundamentalmente debido a que las mejoras en la calidad de los revestimientos potenció este fenómeno en los últimos años

La magnitud del cambio en el potencial causada por la actividad telúrica puede hacer inútiles los registros y mediciones de control a menos que se compense apropiadamente esas variaciones y se corrijan los resultados.

La RP NACE Standard RP0169-96 recomienda que " debe evitarse el uso de una excesiva polarización sobre cañerías revestidas, por lo que debería evitarse valores elevados para minimizar posibilidad despegues catódicos del revestimiento". Esta advertencia se suele interpretar en la industria como un máximo entre -1200mV y -1600mV, por lo que no puede sobre un equipo estándar, aumentar la salida para anticipar el efecto geomagnético, Esto no sucede con ánodos galvánicos que se auto limitan e invierten su sentido cuando se supere su potencial de equilibrio



Es usual y requerido por los códigos medir el cañería-tierra potencial como rutina básica para asegurar que un nivel mínimo de polarización catódica está siendo alcanzado. Esto involucra la medición de potenciales a lo largo de la traza de la línea (en forma discreta o continua /CIPS).

El valor medido incorpora un error IR

$$V = E_p + V_{IR}$$

Una tubería es considerada eficazmente protegida de la corrosión cuando la cañería cuando alcanza un

valor de potencial (E_p) igual o más negativo que -850 mV. Para obtener una medición exacta del potencial se requiere que la caída IR sea eliminada. La técnica más común es eliminar este IR interrumpiendo la corriente de la protección catódica y midiendo el potencial OFF.

Cuando la corriente telúrica está presente, el voltímetro mide un potencial adicional entre la cañería y el electrodo de referencia cuya polaridad y magnitud puede variar con el tiempo y ubicación

$$V = E_p + IR \pm V_t$$

Nosotros hemos desarrollado un software especial a aplicarse en el caso de relevamientos CIS. La técnica usada para vincular las mediciones es el Sistema del Posicionamiento Global (GPS) a través del cual se sincronizan los tiempos de medición en los dataloggers estacionarios (registros de campo). Posteriormente se procesa la información grabada para determinar el verdadero potencial para cada punto del monitoreo con un alto grado de exactitud.

Desde que la corriente inducida geomagnéticamente no puede interrumpirse arbitrariamente, deben utilizarse métodos alternativos para compensar la IR en la tierra causado por la corriente telúrica. Un método involucra el uso de un el cupón de acero pequeño instalado al lado de la cañería con que normalmente se interconecta la cañería en el mojón de medición. El cupón simula la superficie del caño/suelo en una falla del revestimiento. Cuando el cupón está temporalmente desconectado y el electrodo de la referencia se coloca cerca de la cañería, ambos el potencial telúrica y la caída IR son eliminados de la medición OFF y el valor medida puede ser empleado para comparar el criterio de -850 mV o chequear el criterio de los 100 mV Este valor puede compararse al criterio normal de -850 o el cupón puede seguir desconectado para la comparación a los

100 mV de criterio de decaimiento de polarización.

Este sistema no es sin embargo conveniente para registrar los potenciales con tiempo, desde que el cupón tiene que ser desconectado para cada medida.

Hay algunos dispositivos que han demostrado ser un método excelente para registros del potencial en el tiempo. El cupón en este dispositivo no requiere el desconexión desde que un electrodo de la referencia es localizado junto con el cupón, independizándolo de la caída IR y de la corriente telúrica (requieren un electrodo de la referencia permanente).

En el caso de relevamientos continuos (CIPS) la medición de potenciales telúricos es más compleja, pues el electrodo de referencia se mueve encima de la cañería a intervalos regulares (típicamente 1 m) a lo largo de toda la traza del tramo a inspeccionar

Actualmente se desarrollo un método de aplicación en estos casos para compensar las variaciones telúricas. Este se basa en la corrección del potencial medido (V_m) con el electrodo móvil incorporándole por software un delta potencial medido en una referencia fija localizada en una estación de medición conocida (el método es idéntico a lo que sería una medición GPS diferencial con una estación fija y otra móvil)

$$V = V_m \text{ */- } \Delta \text{Corrección}$$

MITIGACION DE LOS EFECTOS TELÚRICOS

PUESTAS A TIERRA

Los potenciales telúricos en las cañerías se originan de la inducción electromagnética y son por consiguiente análogos a los voltajes del CA inducido de las LAT. También en forma similar conectando a tierra la tubería puede ser un método eficaz para mitigar los potenciales telúricos así como con los potenciales inducidos de CA.

Los potenciales telúricos que aparecen a través de una junta aislante pueden reducirse puenteando eléctricamente la junta aislante. Sin embargo del mismo modo que en el caso de mitigación del CA, el vínculo debe diseñarse para mantener la protección catódica del sistema (por ejemplo que se vinculen cuando el potencial supere un valor predeterminado)

PROTECCIONES CATÓDICAS USANDO DIFERENTES SISTEMAS

Los sistemas de protección catódica pueden diseñarse y operarse para mitigar las fluctuaciones de potenciales telúricos.

La aplicación de protección catódica en todos los casos reduce o anula la corrosión telúrica que dependiendo del nivel de protección de la tubería en el momento de la actividad telúrica. Los sistemas de PC proporcionan a menudo un mínimo potencial de polarización de -850mV, qué dependiendo de las condiciones de la tierra es típicamente 100 a 300mV más electronegativo que el potencial de corrosión.

SISTEMAS CON ANODOS DE SACRIFICIO

Los sistemas de protección catódica con ánodos de sacrificio tienen una capacidad de potencial limitada para compensar un cambio de potencial telúrico desde que ellos tienen un potencial de salida relativamente fijo. Ellos sin embargo, ofrecen un camino alternativo a la tierra para la corriente telúrica debido a su baja resistencia a tierra comparada con la resistencia a tierra de la cañería.

Estos sistemas transfieren a tierra parte de las corrientes telúricas (depende principalmente de la resistencia ánodo-tierra comparada a la resistencia caño-tierra).

Este método de protección catódica se utilizó en el Trans-Alaska en forma de ánodo de cinta de cinc que colocado a ambos lados del caño para todo el tramo enterrado. Hay algunos registros sobre otros sistemas que muestran disminuciones de los potenciales telúricos desde ± 5 V a ± 0.1 V (es similar al caso de inducción de CA)

SISTEMAS DE CORRIENTE IMPRESA

Si bien los sistemas de protección catódica por corriente impresa pueden diseñarse teóricamente con una capacidad de voltaje ilimitada, es ineficaz operar continuamente el sistema a los voltajes más altos sólo para proporcionar una protección para un cambio positivo del potencial debido a las corrientes telúricas. Además, los potenciales negativos elevados pueden causar daños al revestimiento (despegue catódico)

Es decir los rectificadores que operan a tensión o corriente constante tiene un efecto casi nulo para mitigar los efectos telúricos (puede darse sobreprotección durante los transitorios negativos y subprotección durante los transitorios positivos (el potencial telúrico está en serie con la salida de la tensión del ER). Para algunos casos donde la interferencia es de gran magnitud es ventajoso emplear equipos automáticos de potencial constante

ANEXO "A" INFORME UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA,

(*) FACULTAD DE CIENCIAS ASTRONOMICAS Y GEOFISICAS

DEPARTAMENTO DE GEOMAGNETISMO Y AERONOMIA

EFECTO DE LAS VARIACIONES DEL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE SOBRE
CAÑERIAS EN LA REGION DEL RIO DE LA PLATA.

INTRODUCCION

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, que representa el 95 % del valor total determinado en forma absoluta en ese observatorio. El 5 % restante corresponde a los campos 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 Corrientes 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. 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.

El Observatorio Magnético de Las Acacias (LAS, Lat.: -35°0; Long.: 302°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 patrullan 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. Esto se evidencia en la actividad de perturbación observada en los registros digitales de estos Observatorios magnéticos.

Para el estudio 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 hechas por la Sonda ACE (Advanced Composition Explorer). Esta sonda se encuentra ubicada en el punto de liberación gravitacional L1 entre la Tierra y el Sol (ver figura 2).

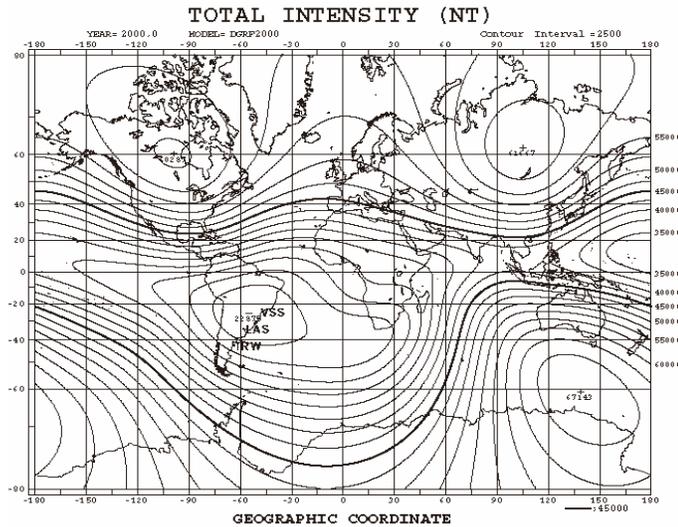


Figura 1.

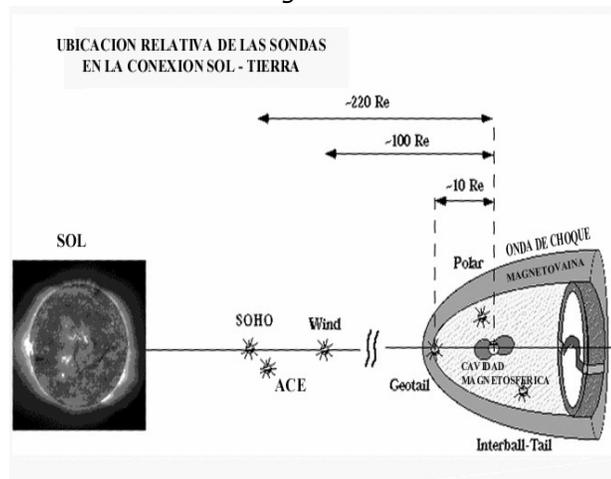


Figura 2

METODOLOGIA DE TRABAJO

Se relacionaron los registros temporales cada 1 minuto en TU. de potencial en una cañería en Santa Ana (Uruguay), realizados durante los meses de noviembre y diciembre de 2006, y enero de 2007, con sus equivalentes de la intensidad total del Campo Geomagnético en el Observatorio Magnético de Las Acacias. Se seleccionó la tormenta magnética del 14 de diciembre de 2006 como la más importante para determinar su relación con los parámetros de velocidad del Viento Solar (VVS) 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.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Las figuras 3, 4 y 5, muestran los registros de la Intensidad Total F del Campo Magnético en LAS y del Potencial V en Santa Ana. 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

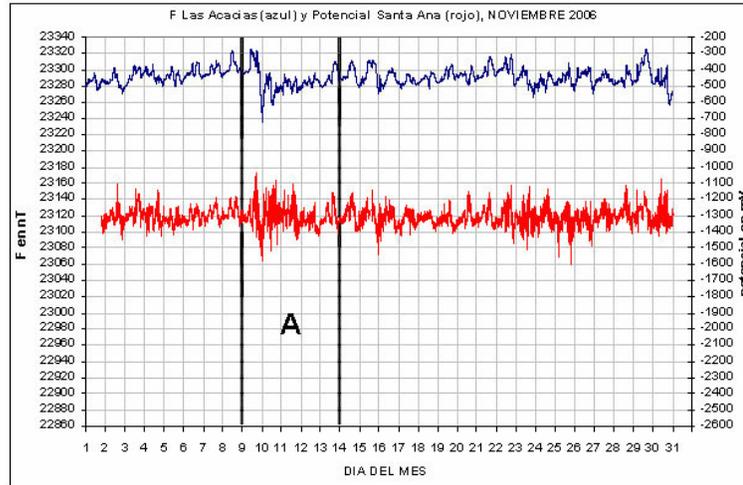


Figura 3

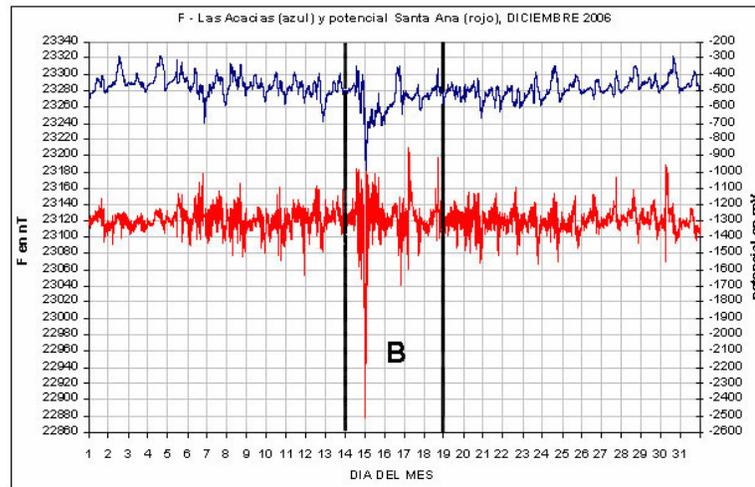


Figura 4

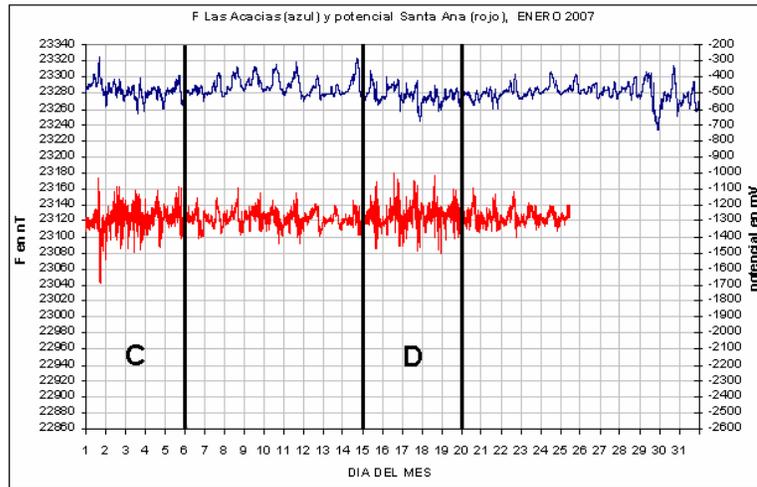


Figura 5

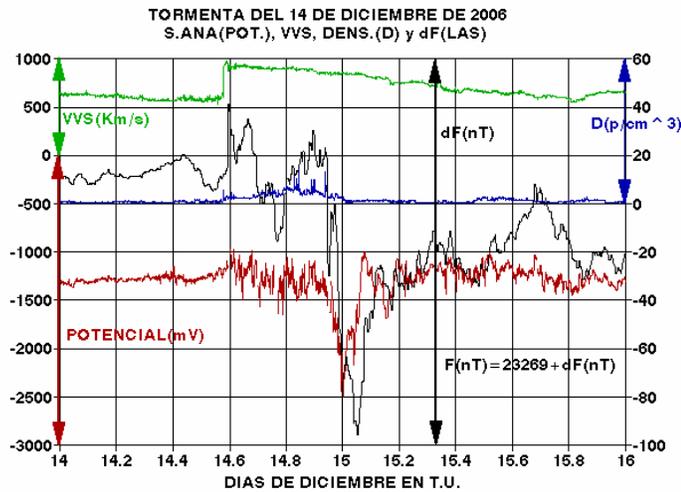


Figura 6

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 de Santa Ana 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 son las siguientes:

Recta: (1) $\delta V (mV) = -12.9747 + 9.3378 (\delta F (nT))$, para $\delta F \geq 20nT$

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

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

Sus gráficas se muestran en la figura 7:

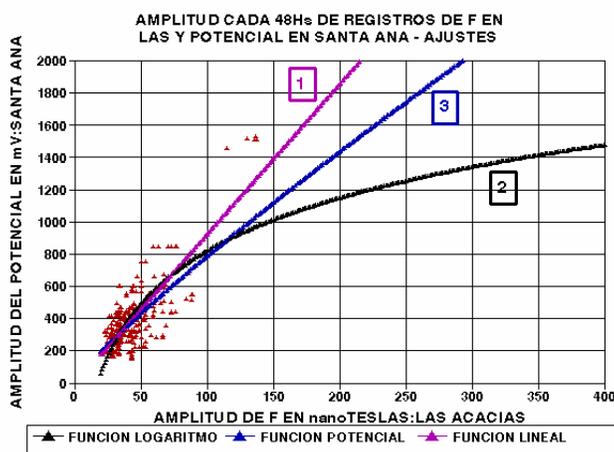


Figura 7

La siguiente tabla 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.

δF	(1)Recta	(2)logarítmica	(3)potencial
nT	$\delta V(mV)$	$\delta V(mV)$	$\delta V(mV)$
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

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

En rojo se marcó la región donde los valores extremos mínimos son menores que -2500 mV

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.

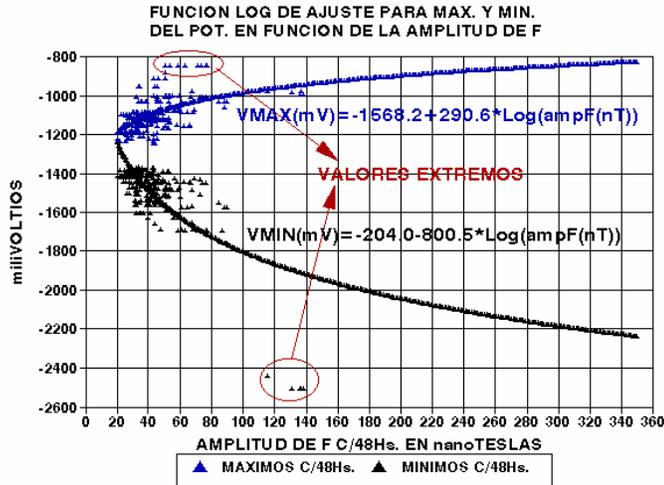


Figura 8

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:

$$V = -1200mV, \text{ como lo son los valores } V_{MIN} \text{ respecto de } V_{MAX}.$$

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

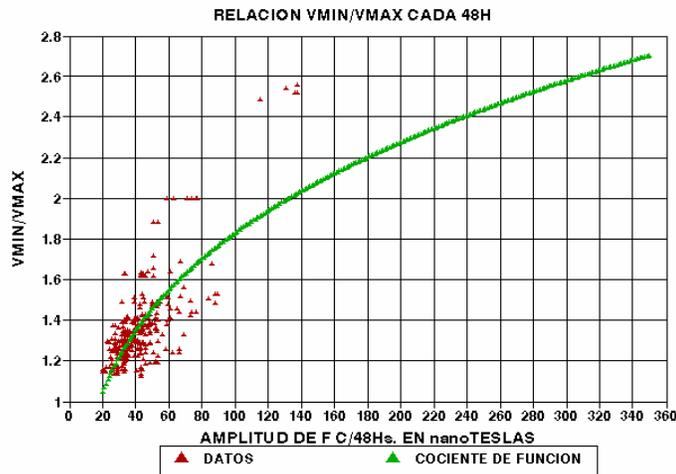


Figura 9

De esta figura 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.

CONCLUSION

Del análisis realizado con los registros del potencial en la cañería, 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. Se muestra además, una marcada relación con la variable geoelectiva 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 el comportamiento de la amplitud de la perturbación magnética. A los fines de un mejor ajuste, se evalúa disponer de 1 año de registro continuo en las cabeceras de la línea y en otras latitudes diferentes, lo que confirmaría con gran exactitud los umbrales de los valores máximos y mínimos del potencial inducido en función de δF y también una aproximación mas exacta de la función que la represente.

CONCLUSION

Del análisis realizado con la información producida por la Empresa LOXX Service, 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 geoelectiva del VVS (velocidad del Viento Solar).

