



UNDÉCIMO ENCUENTRO REGIONAL
IBEROAMERICANO DEL CIGRÉ – XI ERIAC

COMITÉ NACIONAL PARAGUAYO DEL CIGRE
22 al 26 de mayo 2005 – Hernandarias – Paraguay

SISTEMA PARA LA DETERMINACION DE LAS TENSIONES DE PASO Y CONTACTO

D. A. ESTEBAN
IITREE-UNLP
Argentina

Resumen – Se describe el fundamento teórico, el desarrollo e implementación de un sistema para la determinación de las tensiones de paso y contacto en grandes sistemas eléctricos. Se presenta el procedimiento práctico para la realización de las determinaciones y los resultados de campo obtenidos. El sistema descrito permite reducir en al menos tres órdenes de magnitud la prestación del generador de corriente y en dos órdenes como mínimo el peso total del equipamiento requerido respecto al método tradicional con lo que tanto el generador como el instrumental de medición resultan transportables en mano. También permite utilizar un electrodo remoto de inyección de corriente sencillo de hasta 200 Ω de resistencia de tierra que puede ser instalado al momento de las mediciones. Los potenciales generados resultan inferiores a los requeridos por las normas de seguridad eléctrica lo que facilita la instalación del conductor de vinculación entre el electrodo de inyección y la instalación bajo medición.

Palabras clave: Contacto, paso, inyección, electrodo, prestación, seguridad, diferencial, filtro, corrección, errores.

1 INTRODUCCIÓN

El procedimiento tradicional para las determinaciones de las tensiones de paso y contacto, como se describe en las normas internacionales [1] y nacionales argentinas [2], requiere en el caso de mediciones en grandes instalaciones eléctricas de una fuente de inyección de corriente con una prestación que fácilmente supera los 10 kVA y que en ciertos casos particulares puede llegar a los 100 kVA.

Los factores fundamentales que contribuyen a lo indicado son:

- a) Los grandes sistemas eléctricos no pueden ser detenidos, las determinaciones deben realizarse con estos en operación normal. Por esta razón siempre existen importantes corrientes de frecuencia industrial inyectadas en la malla de tierra por el propio sistema, lo que exige que la corriente provista por el sistema de medición sea de magnitud comparable o superior a estas para que los errores en las mediciones resulten razonables [1]. Los equipos tradicionales fabricados comercialmente proveen entre 50 A y 100 A de corriente de inyección.
- b) La magnitud de la resistencia de la puesta a tierra remota requerida para cerrar el circuito de inyección de corriente. La obtención de un valor de algunos ohms requiere de una instalación dedicada que resulta costosa, de compleja ejecución y no siempre realizable en la práctica [3]. Los elevados valores de la resistencia de tierra remota conjuntamente con la elevada corriente de inyección se traduce en los importantes valores de prestación mencionados.

Adicionalmente el uso de elevadas prestaciones en el sistema de inyección de corriente se traduce en la generación de elevadas diferencias de potencial entre la tierra remota y la del sistema bajo medición lo que exige tomar medidas especiales de seguridad para la protección de las personas en todo el recorrido del conductor de vinculación entre ambas [4]. Es de destacar que el recorrido del conductor puede llegar a ser de varios kilómetros cuando la red de tierra del sistema bajo análisis es de grandes dimensiones como en el caso de estaciones transformadoras de alta tensión.

Salvadas todas las dificultades antes mencionadas generalmente es necesario efectuar un procedimiento particular de medición que requiere de tres mediciones y

su posterior procesamiento por cada tensión de paso o contacto a determinar [2], [3].

2 GENERALIDADES

2.1 Sistema Desarrollado

Para solucionar los inconvenientes descritos del sistema tradicional se ha diseñado e implementado un sistema de inyección de corriente y medición de los potenciales resultantes con características especiales que se compone de dos unidades independientes con las siguientes funciones:

- Un Generador de Corriente sinusoidal electrónico cuya frecuencia difiere de la del sistema eléctrico y de amplitud ajustable hasta un nivel máximo de 2A eficaces.
- Un Sistema de Medición compuesto de un Amplificador Diferencial y un Filtro pasa banda con ganancia de tensión seleccionable entre 1, 10 y 100.
Esta unidad es totalmente autónoma y se intercala entre los electrodos de medición, de las tensiones de paso y contacto, y el voltímetro requerido para cuantificar las diferencias de potencial resultantes entre ellos.

El Filtro, cuya frecuencia central es coincidente con la del Generador, posibilita la detección de los potenciales de reducida amplitud generados en el terreno por el generador de inyección aún en presencia de los elevados potenciales de frecuencia industrial producidos por las corrientes inyectadas por el sistema eléctrico en condiciones normales de operación.

2.2 Características resultantes

Con la implementación del sistema descrito se obtienen las siguientes características destacables respecto a los equipos y procedimientos de medición tradicionales:

- Uso de un electrodo de tierra remoto simple que no requiere de ninguna obra especial para su instalación. Este puede consistir de una jabalina comercial de 1,5 m a 2,5 m de longitud u otro elemento conductor equivalente ya existente en el lugar.
- El uso de una corriente de magnitud reducida da como consecuencia una baja prestación, esto se traduce en un generador de corriente de reducido volumen, liviano y fácilmente transportable por una persona (10 kg contra un mínimo de 150 kg del sistema convencional).
- La diferencia de potencial generada entre la tierra remota y el sistema bajo medición resulta siempre inferior a 30 V eficaces con lo que se eliminan las condiciones de peligro para las personas en todo el recorrido de la instalación de inyección de corriente [4].

- Las determinaciones de los potenciales resultantes entre los electrodos instalados en el sitio de interés se realizan mediante una única operación de medición sin requerir de las tres determinaciones y posterior cálculo como en el caso del uso del sistema tradicional.
- Siendo el sistema de medición de los potenciales, de operación totalmente independiente y autónoma del de inyección, se facilitan las determinaciones en aquellas instalaciones que ocupan grandes superficies. No se requiere de ninguna operación sobre el generador durante el proceso de medición.

2.3 Factor de corrección

Como en el método tradicional se requiere de la determinación de un factor de corrección (Fc), a aplicar sobre las magnitudes medidas, para obtener las correspondientes tensiones de contacto (Uc) y de paso (Up) a partir de los valores de los potenciales medidos (Ucm) y (Upm). Este se determina en función de las magnitudes de la corriente inyectada durante las mediciones y de la corriente máxima de falla a tierra prevista en la instalación bajo medición.

Si la corriente inyectada durante las mediciones es Ig y la de falla a tierra de la instalación es Ie el factor de corrección resulta:

$$F_c = I_e / I_g$$

3 DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS

3.1 Componentes del sistema

Para la implementación del sistema que se muestra en los diagramas de las figuras 1 y 2 se han empleado equipos de dos orígenes diferentes:

- Convencionales de producción comercial, como los son el amperímetro de corriente alterna requerido para la medición de la corriente inyectada (Ig) y el voltímetro necesario para la medición de los potenciales desarrollados entre los electrodos previo paso por el Filtro pasa banda.
- Diseñados y construidos por el IITREE expresamente para cumplir los requerimientos propuestos para el nuevo sistema de medición. Estos son el Generador de Inyección de Corriente, el Amplificador Diferencial y el Filtro pasa banda.

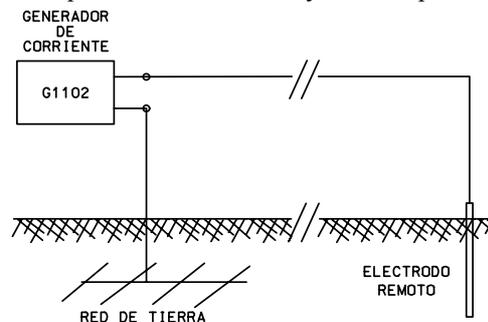


Fig. 1. Esquema del circuito de inyección de corriente.

A continuación se describen aquellos componentes expresamente diseñados y contruidos para la aplicación.

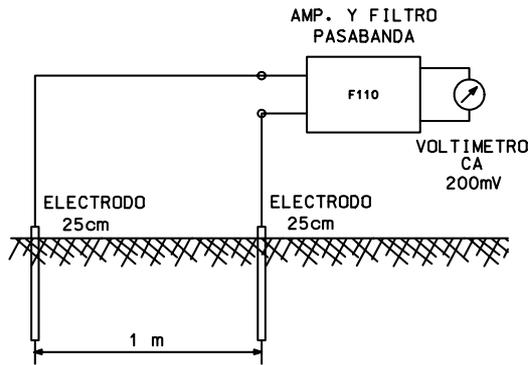


Fig. 2. Esquema del circuito de medición.

3.2 Generador de Inyección de Corriente

En la figura 3 se presenta el diagrama en bloques del Generador de Inyección de Corriente sinusoidal de 110,8 Hz con amplitud continuamente ajustable hasta 2 A eficaces.

La selección de la frecuencia particular de operación se efectuó cumpliendo con los requerimientos impuestos por la norma de referencia [2].

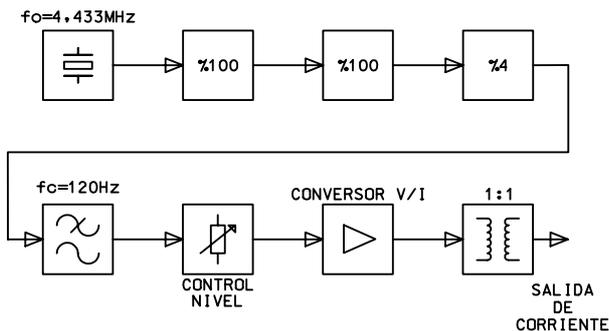


Fig. 3. Esquema del Generador de Inyección de Corriente.

Para obtener una frecuencia altamente estable se parte de un oscilador controlado por un resonador de cuarzo de 4,433 MHz que es seguido por un divisor lógico de $N=40000$ con lo que se obtiene como salida una onda cuadrada de 110,8 Hz con 50 % de ciclo de trabajo.

Un filtro pasa bajos de tres polos remueve las armónicas impares dando como resultado una señal sinusoidal con contenido armónico menor al 1%.

Una etapa de potencia operando como convertidor de tensión a corriente excita a un transformador aislador en cuyo secundario está disponible la corriente de inyección con una prestación máxima de 40 VA y con una amplitud límite de 30V eficaces.

3.3 Amplificador Diferencial y Filtro pasa banda de 110,8 Hz

En la figura 4 se presenta el diagrama en bloques del Amplificador Diferencial y Filtro pasa banda que se intercala entre los electrodos de medición y el

voltímetro de corriente alterna. Estos elementos configuran la sección de medición.

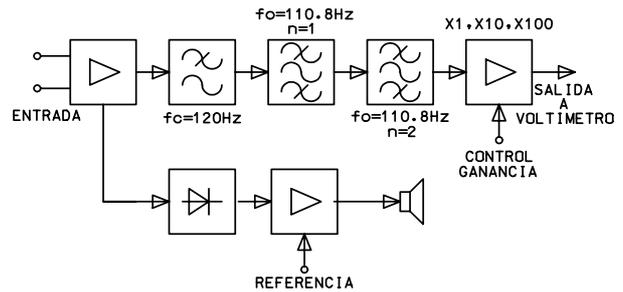


Fig. 4. Esquema del Amplificador Diferencial y Filtro Pasa banda.

Un amplificador diferencial de ganancia unitaria se encarga de convertir la diferencia de potencial desarrollada entre los puntos de medición, sin ningún punto de referencia determinado, en una señal cuya referencia es el plano de potencial cero interno del filtro pasa banda.

El filtro pasa bajos siguiente, con una frecuencia de corte de 120 Hz, provee de un primer paso de atenuación de todas aquellas componentes de frecuencias superiores a la deseada que pudieran estar presentes en la señal de entrada.

El Filtro pasa banda se compone de dos etapas que conforman un filtro pasa banda de tres polos, centrado en 110,8 Hz, con un cero de transmisión en la tercera armónica de 50 Hz.

Para compensar las atenuaciones que se producen en las diferentes etapas y posibilitar el uso de un voltímetro de alterna de producción comercial de 200 mV de alcance se emplea un amplificador final de ganancia seleccionable que permite fijar la relación entre la tensión de salida y la de entrada en factores calibrados de 1, 10 y 100 con un error máximo de $\pm 2\%$.

4 PROCEDIMIENTO DE MEDICION

4.1 Instalación del electrodo de inyección remoto

Como ya se indicara se requiere instalar un electrodo remoto que puede consistir de una jabalina comercial de 1,5 m a 2,5 m de longitud u otro elemento conductor equivalente a una distancia, de la instalación a verificar, de entre 2 y 5 veces el lado mayor de esta como se recomienda en la norma de referencia [2]. La resistencia de esta puesta a tierra se denominará: Rremota.

4.2 Verificaciones preliminares

Como medida de seguridad para las personas y para garantizar la correcta operación de los equipos se requiere de la realización de las siguientes verificaciones:

- Medición de la diferencia de potencial entre la red de tierra local y la tierra remota. Previo a la vinculación de la tierra local y la remota se deberá medir la diferencia de potencial entre ambas. Si el valor medido supera los 10 V eficaces se deberá verificar la razón de esta situación antes de

proceder a la vinculación de ambas tierras. La determinación de la frecuencia de la tensión permitirá orientar la búsqueda de su origen.

- b) Vinculación de ambas tierras y medición de la corriente resultante. Una vez vinculadas ambas tierras se procederá a medir la corriente resultante. Esta no deberá superar el valor de 1A eficaz para que la operación del generador de inyección sea satisfactoria. La determinación de la frecuencia de la corriente permitirá orientar la búsqueda de su origen.
- c) Medición de la resistencia total del lazo de inyección de corriente. Mediante un medidor de resistencia, con pinzas de inyección de corriente y medición de tensión, se determinará la magnitud de la resistencia total del lazo formado por la puesta a tierra local, la resistencia del conductor de vinculación y la tierra remota. En lo sucesivo este valor se denominará:

$$R_{\text{lazo}}[\Omega] = R_{\text{local}} + R_{\text{conductor}} + R_{\text{remota}}$$

4.3 Inyección de corriente

Cumplidas las verificaciones descriptas en la sección anterior se procede a la inyección de la corriente siguiendo los pasos siguientes:

- a) Mediante el Generador de Corriente, se inyectará una magnitud gradualmente creciente tal que no se supere la prestación de 40 VA del generador. La prestación se calcula como:

$$P[\text{VA}] = I_{\text{gen}}^2[\text{A}^2] \cdot R_{\text{lazo}}[\Omega]$$

Mediante la observación de la forma de onda con un osciloscopio conectado a la salida de medición de corriente se podrá verificar que no se produzca limitación en la amplitud. De comprobarse esta situación se deberá reducir la amplitud de la corriente hasta que la forma de onda resulte libre de distorsión.

- b) Conectando un voltímetro en la salida de medición del generador se registrará la lectura de la corriente inyectada, cuyo valor se determina como:

$$I_{\text{gen}}[\text{A}] = U_{\text{med}}[\text{V}] \cdot 1[\text{A/V}]$$

4.4 Determinación de la tensión de contacto

- a) Se instalará en el terreno circundante al objeto al cual se le desea determinar la tensión de contacto (estructura, valla, portón, etc.) una jabalina de alrededor de 25 cm de longitud y a 1 m de distancia de él. Si el suelo está muy seco se verterá agua en la zona del electrodo. Alternativamente, para el caso de suelos rocosos o similares puede utilizarse un electrodo plano de 400 cm² a 625 cm² apoyado sobre el terreno con una tela humedecida entre ambos y con una presión de 500 N a 800 N [2].

- b) Se conectarán los terminales de entrada del Amplificador diferencial y Filtro de 110 Hz, uno al objeto y el otro a la jabalina o electrodo auxiliar. Con un voltímetro de corriente alterna conectado en la salida del filtro se seleccionará la ganancia (X1, X10 o X100) para obtener la máxima indicación compatible con los niveles permitidos para cada rango. Estos niveles se encuentran indicados en el panel frontal del equipo en correspondencia con el respectivo control de selección de ganancia. La magnitud así obtenida será la tensión de contacto medida (U_{cm}) correspondiente a la corriente inyectada (I_{gen}).
- c) Para obtener la tensión de contacto real (U_c) se deberá multiplicar la magnitud medida (U_{cm}) por el factor de corrección (F_c) calculado como se describió en la sección 2.3.. Así resulta:

$$U_c[\text{V}] = U_{\text{cm}} \cdot F_c$$

4.5 Determinación de la tensión de paso

- a) Se instalarán en el terreno dos jabalinas de alrededor de 25 cm de longitud separadas una distancia de 1 m entre sí siguiendo una dirección perpendicular al perímetro de la zona en la que se desea determinar la tensión de paso. Si el suelo está muy seco se verterá agua en la zona correspondiente a cada jabalina. Alternativamente, para el caso de suelos rocosos o similares pueden utilizarse dos electrodos planos de 400 cm² a 625 cm² apoyados sobre el terreno con una tela humedecida, entre ellos y el terreno, y con una presión de 500 N a 800 N [2].
- b) Se conectarán los terminales de entrada del Amplificador Diferencial y Filtro de 110 Hz, F110, uno a cada jabalina o electrodo. Con un voltímetro de corriente alterna conectado en la salida del filtro se seleccionará la ganancia (X1, X10 o X100) para obtener la máxima indicación, compatible con los niveles permitidos para cada rango. Estos niveles se encuentran indicados en el panel frontal del equipo en correspondencia con la respectiva tecla de selección de ganancia. La magnitud así obtenida será la tensión de paso medida, U_{pm}, correspondiente a la corriente inyectada, I_{gen}.
- c) Repitiendo las operaciones anteriores, indicadas en a) y b), en puntos alineados entre sí y en dirección tal que se incremente progresivamente la distancia respecto el área de la puesta a tierra del sistema en estudio se relevará el perfil de potencial. Esto permitirá determinar aquella zona donde se produce la máxima tensión de paso.
- d) Para obtener la tensión de paso real, U_p, se deberá multiplicar la magnitud de U_{pm} por el factor de corrección F_c calculado como se describió en la sección 2.3.. Así resulta:

$$U_p[\text{V}] = U_{\text{pm}} \cdot F_c$$

5 RESULTADOS DE MEDICIONES EN CAMPO

5.1 Mediciones en Estación Transformadora de 500kV

Las mediciones se realizaron en una ET situada en el noreste argentino y que posee una superficie de 300 m x 300 m aproximadamente.

Se utilizó como electrodo remoto una cañería de una bomba de agua ya existente en el lugar y situada a unos 2 km de distancia de la estación transformadora a verificar. Las características del electrodo de inyección y del terreno dieron una resistencia $R_{lazo} = 7 \Omega$ lo que permitió utilizar una corriente $I_g = 2 \text{ A}$ con una prestación resultante de 28 VA.

Los potenciales desarrollados sobre el terreno, entre dos electrodos separados 1m, por las corrientes inyectadas por el propio sistema eléctrico se encontraban en el rango de 100 mV a 200 mV eficaces.

De haberse utilizado el sistema tradicional de medición con 50 A de corriente de inyección se hubiera requerido una prestación de 17,5 kVA y se hubiera producido una diferencia de potencial entre ambas puestas a tierra de 350 V.

Para este sistema analizado el factor de corrección resultó $F_c=7850$.

La Tabla I resume los resultados obtenidos en cuatro áreas diferentes (A, B, C, D) del perímetro de la ET.

Las tensiones consignadas entre los puntos 0 y 1 corresponden a las existentes entre el perímetro de la ET, cerco de alambre, y el electrodo colocado a 1 m de distancia de él, es decir que se trata de las tensiones de contacto de cada sitio.

Las restantes tensiones indicadas entre los puntos 1-2, 2-3, etc. corresponden a las existentes entre puntos del terreno separados 1 m entre sí y a distancias progresivamente mayores del perímetro analizado. Estas son las tensiones de paso de cada sitio. Ellas no resultan de magnitud uniformemente decreciente por las características irregulares de la composición del terreno circundante.

TABLA I. TENSIONES MEDIDAS Y MAGNITUDES RESULTANTES DE LAS TENSIONES DE CONTACTO Y DE PASO EN ET DE 500 kV

Puntos	Tensiones medidas [mV]				Tensiones resultantes de contacto / paso [V]			
	A	B	C	D	A	B	C	D
0-1	5,2	4,4	11,9	19,0	40,6	34,5	93,4	149
1-2	4,1	3,5	5,5	12,1	32,2	27,5	43,2	95,0
2-3	6,3	5,1	4,9	9,1	49,5	40,0	38,5	71,6
3-4	5,0	2,9	7,3	6,5	39,3	22,8	57,3	51,0
4-5	3,6	2,5	5,9	4,5	28,3	19,6	46,3	35,4
5-6	2,5	1,8	4,4	3,3	19,6	14,1	34,5	26,1
6-7	1,8	1,1	3,7	2,6	14,3	8,6	29,0	20,3

5.2 Mediciones en Estaciones Transformadoras de 132kV

Se presentan los resultados obtenidos en tres Estaciones Transformadoras de 132 kV situadas en el noroeste argentino. Todas ocupaban superficies del orden de 50m x 50m.

En todos los casos se utilizaron como electrodos remotos jabalinas comerciales de 1,5 m de longitud y 12mm de diámetro instaladas en el momento de la realización de las mediciones a distancias de 400 m a 500 m de las estaciones transformadoras.

Por las características del terreno y la reducida longitud de los electrodos de inyección empleados las resistencias del lazo de inyección (R_{lazo}) resultaron superiores a aquella que permite utilizar la máxima corriente del generador (2 A).

En todos los casos la máxima corriente resultó limitada por la máxima amplitud de la tensión de salida permitida por el generador (30 V).

a) Estación Transformadora "A".

La resistencia total resultó de $R_{lazo} \cong 27 \Omega$ lo que permitió utilizar una corriente de inyección máxima de $I_g = 0,9 \text{ A}$ con una con una prestación resultante de 21,9 VA.

Para este sistema el factor de corrección resultó $F_c=5870$.

La Tabla II resume los resultados obtenidos de las tensiones de contacto (punto 0-1) y de paso (puntos 1-2 a 5-6) en cuatro áreas diferentes (A, B, C, D) alrededor del perímetro de la ET.

TABLA II. TENSIONES MEDIDAS Y MAGNITUDES RESULTANTES DE LAS TENSIONES DE CONTACTO Y DE PASO EN ET "A"

Puntos	Tensiones medidas [mV]				Tensiones resultantes de contacto / paso [V]			
	A	B	C	D	A	B	C	D
0-1	39	17,7	21,6	4,0	229	104	127	23,5
1-2	4,4	4,2	3,5	3,0	25,8	24,6	20,5	17,6
2-3	2,1	3,6	2,8	2,3	12,3	21,1	16,4	13,5
3-4	2,5	2,3	2,4	2,2	14,7	13,5	14,1	12,9
4-5	2,0	2,3	2,3	2,0	11,7	13,5	13,5	11,7
5-6	1,4	2,1	2,0	1,9	6,2	12,3	11,7	11,2

b) Estación Transformadora "B".

La resistencia total resultó de $R_{lazo} \cong 43 \Omega$ lo que permitió utilizar una corriente de inyección máxima de $I_g = 0,7 \text{ A}$ con una con una prestación resultante de 21,1 VA.

Para este sistema el factor de corrección resultó $F_c=3540$.

La Tabla III resume los resultados obtenidos de las tensiones de contacto (punto 0-1) y de paso

(puntos 1-2 a 5-6) en cuatro áreas diferentes (A, B, C, D) alrededor del perímetro de la ET.

TABLA III. TENSIONES MEDIDAS Y MAGNITUDES RESULTANTES DE LAS TENSIONES DE CONTACTO Y DE PASO EN ET "B"

Puntos	Tensiones medidas [mV]				Tensiones resultantes de contacto / paso [V]			
	A	B	C	D	A	B	C	D
0-1	39	17,7	21,6	4,0	229	104	127	23,5
1-2	4,4	4,2	3,5	3,0	25,8	24,6	20,5	17,6
2-3	2,1	3,6	2,8	2,3	12,3	21,1	16,4	13,5
3-4	2,5	2,3	2,4	2,2	14,7	13,5	14,1	12,9
4-5	2,0	2,3	2,3	2,0	11,7	13,5	13,5	11,7
5-6	1,4	2,1	2,0	1,9	6,2	12,3	11,7	11,2

c) Estación Transformadora "C".

La resistencia total resultó de una magnitud extremadamente elevada por la alta resistividad del terreno de la zona ($R_{lazo} \cong 200 \Omega$) lo que permitió utilizar solamente una corriente de inyección de $I_g=0,15$ A con una con una prestación resultante de 4,5 VA.

Para este sistema el factor de corrección resultó $F_c=10520$.

La Tabla IV resume los resultados obtenidos de las tensiones de contacto (punto 0-1) y de paso (puntos 1-2 a 5-6) en cuatro áreas diferentes (A, B, C, D) del perímetro de la ET.

TABLA IV. TENSIONES MEDIDAS Y MAGNITUDES RESULTANTES DE LAS TENSIONES DE CONTACTO Y DE PASO EN ET "C"

Puntos	Tensiones medidas [mV]				Tensiones resultantes de contacto / paso [V]			
	A	B	C	D	A	B	C	D
0-1	7,5	8,4	7,3	6,0	78,9	88,4	76,8	63,1
1-2	3,0	3,4	3,8	2,4	31,6	35,8	40,0	25,2
2-3	2,6	2,0	2,8	2,1	27,4	21,0	29,5	22,1
3-4	1,7	1,3	1,6	1,8	17,9	13,7	16,8	18,9
4-5	1,4	0,9	1,4	1,4	14,7	9,5	14,7	14,7
5-6	0,7	0,8	1,0	1,0	7,4	8,4	10,5	10,5

De haberse utilizado el sistema tradicional de medición con una corriente de inyección de 50 A se hubieran requerido prestaciones de 67,5 kVA y 107,5 kVA respectivamente para las ET "A" y "B".

Las diferencias de potencial entre ambas puestas a tierra hubieran resultado de 1350 V y 2150 V respectivamente.

En el caso de la ET "C" la magnitud resultante de la prestación hubiera resultado mucho más impráctica aún que en los casos anteriores (500 kVA) por lo que habría que haber realizado la instalación de un electrodo remoto especialmente diseñado para reducir su resistencia.

6 CONCLUSIONES

Las mediciones de campo se realizaron en instalaciones de variadas superficies y situadas en terrenos con muy diferentes características de conductividad. Se emplearon electrodos de inyección de corriente ya existentes en el lugar y también otros instalados al momento de la realización de las mediciones.

Las resistencias totales del circuito de inyección de la corriente resultaron dentro de un amplio rango de valores cuya magnitud llegó hasta los 200 Ω .

Como consecuencia de ello las corrientes de inyección resultaron en varias de las instalaciones limitadas por la máxima amplitud de la tensión de salida del Generador de Inyección (30 V) y no por su prestación máxima (40 VA). Según el sitio la corriente estuvo en el rango de 0,15 A a 2 A.

En todos los casos los potenciales desarrollados sobre el terreno (U_{cm} y U_{pm}) por la corriente inyectada resultaron perfectamente detectables y cuantificables con la exactitud requerida para este tipo de mediciones.

Los potenciales de frecuencia industrial y sus armónicas no perturban las mediciones aún con corrientes de inyección tan reducidas como 0,15 A.

En las amplias condiciones de operación del sistema de medición desarrollado, impuestas por las características propias de cada sitio en que se encontraban las instalaciones a verificar, se ha demostrado la efectividad del mismo y el cumplimiento de las premisas propuestas presentadas en la sección 2.

7 REFERENCIAS

- [1] Norma ANSI/IEEE STD 80-1986.- "IEEE Guide for safety in AC substation grounding".
- [2] Norma IRAM 2281- Parte 2.- 2002.- "Puesta a tierra de sistemas eléctricos. Guía de mediciones de magnitudes de puesta a tierra (resistencias, resistividades y gradientes)".
- [3] ELECTRA N° 71.- "Station earthing. Safety and interference aspects". CIGRE, Julio 1980 , pp 47-69.
- [4] Norma IEC 60479-1.- "Effects of current on human beings and livestock. – Part 1: General aspects".