


	PROYECTO: INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE PARA LAS MEJORAS OPERATIVAS TERMINAL SANTA CRUZ	CÓDIGO DE DOCUMENTO: SC-E01-EL-00-MC-04
	TITULO: MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA PAT	HOJA: 1 de 7

ÍNDICE DE REVISIONES



Fecha	Revisión	Observaciones
08-12-17	A	Para Aprobación
05-01-18	B	Para Aprobación

Hector Veliz Ing. Proyectos	Manuel Rodríguez Coord. de Ingeniería	Xavier Sejas Gerente de Ingeniería
ELABORADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR
ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE YPFB TRANSPORTE S.A. Y NO DEBERA SER REPRODUCIDO O UTILIZADO PARA UNA FINALIDAD DIFERENTE DE AQUELLA PARA LA QUE HA SIDO SUMINISTRADO.		

	PROYECTO: INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE PARA LAS MEJORAS OPERATIVAS TERMINAL SANTA CRUZ	CÓDIGO DE DOCUMENTO: SC-E01-EL-00-MC-04
	TITULO: MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA PAT	HOJA: 2 de 7

CONTENIDO

1.	OBJETIVO	3
2.	ALCANCE	3
3.	NORMAS DE APLICACIÓN	3
4.	CRITERIOS DE DISEÑO	4
4.1.	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA TOTAL DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	4
4.2.	COEFICIENTES K1 Y K2	4
4.3.	RESISTENCIA A TIERRA DE LOS CONDUCTORES DE REJILLA	5
4.4.	RESISTENCIA A TIERRA DE LOS ELECTRODOS VERTICALES	5
4.5.	RESISTENCIA MUTUA	5
4.6.	SELECCIÓN DEL CABLE CONDUCTOR DE TIERRA	6
4.7.	CÁMARAS DE INSPECCIÓN	7
4.8.	SOLDADURA CUPROALUMINOTERMICA	7

	PROYECTO: INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE PARA LAS MEJORAS OPERATIVAS TERMINAL SANTA CRUZ	CÓDIGO DE DOCUMENTO: SC-E01-EL-00-MC-04
	TITULO: MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA PAT	HOJA: 3 de 7

1. OBJETIVO

El presente documento tiene por objeto definir las bases para realizar el cálculo del sistema de puesta a tierra del área, para el proyecto “Ingeniería Básica y de Detalle Mejoras Operativas Terminal Santa Cruz”.

2. ALCANCE

El alcance de la memoria definirá las bases para realizar el cálculo del sistema de puesta a tierra, las consideraciones de protección y seguridad están basados en el estándar IEEE-80 “Guide for Safety in AC Substation Grounding”.

La documentación que se elaborará a partir de la información remitida será:

- a) Medición y cálculo de la resistividad del terreno
- b) Calculo de la malla
- c) Plano del sistema de puesta a tierra



El valor ideal para el sistema de puesta a tierra es cero ohmios, pero ya que dicho valor es imposible llegar se toman valores recomendados por norma.

El estándar API 540 especifica que para áreas industriales debe ser menor a 5 ohm, en caso de que el diseño no alcance dicho valor, se deberá realizar mejoramientos de suelo hasta alcanzar los valores recomendados.

3. NORMAS DE APLICACIÓN

Las normas de aplicación y/o referencia utilizadas en el diseño y construcción de los trabajos son las siguientes:

- ✓ NEC : Código Eléctrico Nacional
- ✓ API 540 – Electrical Installations in Petroleum Processing Plants
- ✓ IEEE-STD 80-2000 Guide for Safety in AC Substation Grounding.
- ✓ IEEE-STD 81-2000 Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System.

	PROYECTO: INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE PARA LAS MEJORAS OPERATIVAS TERMINAL SANTA CRUZ	CÓDIGO DE DOCUMENTO: SC-E01-EL-00-MC-04
	TITULO: MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA PAT	HOJA: 4 de 7

4. CRITERIOS DE DISEÑO

A continuación se presenta una descripción de los criterios de diseño de sistemas de puesta a tierra (SPT) con el algoritmo propuesto en IEEE 80-2000. Un sistema de puesta a tierra debe instalarse para limitar los gradientes de potencial de tierra a niveles de tensión y corriente que no pongan en peligro la seguridad de las personas y de los equipos bajo condiciones normales y de falla.

4.1. Cálculo de la resistencia total del sistema de puesta a tierra

Para este cálculo se recurrirá a las ecuaciones desarrolladas por Schwarz, con el cual se puede determinar la resistencia total de un sistema de tierra que emplea un suelo homogéneo y utiliza electrodos horizontales (rejillas) y verticales (jabalinas).

Schwarz utilizó la siguiente ecuación, misma que relaciona las resistencias aportadas por la(s) rejilla(s), las jabalinas y la resistencia mutua para determinar una resistencia general total.

$$R_g = \frac{(R_1) * (R_2) - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2 * R_m}$$

Dónde:

R1: Resistencia de los conductores o rejilla(s) [Ω]

R2: Resistencia de todas las varillas de tierra [Ω]

Rm: Resistencia mutua entre R1 y R2 [Ω]

Así que para encontrar la resistencia general de tierra, primero hay que encontrar los demás valores:

4.2. Coeficientes K1 y K2



Los valores K1 y K2 fueron presentados por Schwarz en forma de curvas en función de b/a, siendo:

b = longitud de la malla (dimensión del lado mayor)

a = ancho de la malla (dimensión del lado menor)

En 1981, Kercel presentó ecuaciones para el cálculo analítico de K1 y K2.

Las ecuaciones para K1 y K2 son:

	PROYECTO: INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE PARA LAS MEJORAS OPERATIVAS TERMINAL SANTA CRUZ	CÓDIGO DE DOCUMENTO: SC-E01-EL-00-MC-04
	TITULO: MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA PAT	HOJA: 5 de 7

$$K_1 = 0.92\sqrt{ab} \left[\frac{1}{a} \ln \frac{a + \sqrt{a^2 + b^2}}{b} + \frac{1}{b} \ln \frac{b + \sqrt{a^2 + b^2}}{a} + \frac{a}{3b^2} + \frac{b}{3a^2} - \frac{a^2 + b^2}{3a^2b^2} \sqrt{a^2 + b^2} \right]$$

$$K_2 = \ln \frac{4(a+b)}{b} + 2K_1 \frac{a+b}{\sqrt{ab}} - \ln \frac{a + \sqrt{a^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2}}{\frac{b}{2}} - \frac{1}{2} \ln \frac{\frac{b}{2} + \sqrt{a^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2}}{-\frac{b}{2} + \sqrt{a^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2}}$$

Estos coeficientes son utilizados para desarrollar las ecuaciones de Schwarz, así:

4.3. Resistencia a tierra de los conductores de rejilla

$$R1 = \frac{\rho}{\pi * Lc} \left[\ln \left(\frac{2 * Lc}{a'} \right) + \frac{(k1) * (Lc)}{\sqrt{A}} - K2 \right]$$

4.4. Resistencia a tierra de los electrodos verticales

Para este cálculo consideraremos 4 electrodos verticales.

$$R2 = \frac{\rho}{2\pi * (n_r)(L_r)} \left[\ln \left(\frac{4 * L_r}{b} \right) - 1 + \frac{(2k1) * (L_r)}{\sqrt{A}} * (\sqrt{n_r} - 1)^2 \right]$$

4.5. Resistencia mutua

$$Rm = \frac{\rho}{\pi * Lc} \left[\ln \left(\frac{2 * Lc}{L_r} \right) + \frac{(k1) * (Lc)}{\sqrt{A}} - K2 + 1 \right]$$

Dónde:

L_r = Longitud de cada varilla [m]

$2b$ = Diámetro de la varilla [m]



n_r = Numero de varillas que se colocan en el área A

ρ = Resistividad del suelo [Ω]

Lc = Valor de la longitud total en metros de todos los conductores de la rejilla de tierra [m]

a' = Es igual a $\sqrt{(a * 2h)}$ para los conductores a una profundidad h [m]

$2a$ = Diámetro del conductor [m]

	PROYECTO: INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE PARA LAS MEJORAS OPERATIVAS TERMINAL SANTA CRUZ	CÓDIGO DE DOCUMENTO: SC-E01-EL-00-MC-04
	TITULO: MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA PAT	HOJA: 6 de 7

4.6. Selección del cable conductor de tierra



El tamaño del conductor realmente seleccionado es usualmente más grande que el que se basa en la fusión, debido a factores como:

- El conductor debe resistir los esfuerzos mecánicos esperados y la corrosión durante la vida útil de la instalación.
- El conductor debe tener alta conductancia para prevenir caídas de tensión peligrosas durante una falla.
- La necesidad de limitar la temperatura del conductor.
- Debe aplicarse un factor de seguridad a la instalación de puesta a tierra y a los demás componentes eléctricos.

A continuación se presenta la “Tabla 1” extraída de la Norma NEC Art. 250 donde indica la selección del calibre de los conductores para puesta a tierra, esto dependiendo del ajuste máximo del dispositivo de sobre corriente principal.

Rating or Setting of Automatic Overcurrent Device in Circuit Ahead of Equipment, Conduit, etc., Not Exceeding (Amperes)	Size (AWG or kcmil)	
	Copper	Aluminum or Copper-Clad Aluminum*
15	14	12
20	12	10
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250
1600	4/0	350
2000	250	400
2500	350	600
3000	400	600
4000	500	750
5000	700	1200
6000	800	1200

Tabla 1: Calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de equipos

	PROYECTO: INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE PARA LAS MEJORAS OPERATIVAS TERMINAL SANTA CRUZ	CÓDIGO DE DOCUMENTO: SC-E01-EL-00-MC-04
	TITULO: MEMORIA DE CÁLCULO DEL SISTEMA PAT	HOJA: 7 de 7

Las buenas prácticas de selección del conductor se acostumbra emplear como calibre mínimo de 70mm² (# 2/0AWG) de cobre, con el fin de mejorar la rigidez mecánica de la malla y soportar la corrosión.

4.7. Cámaras de inspección

Se realizará la instalación de cámaras de inspección en el sistema de puesta a tierra, esto con el fin de poder realizar las mediciones necesarias y así llevar un registro del estado de la malla de tierra.

Las cámaras de inspecciones se instalaran en puntos donde se pueda realizar mediciones o donde se esté uniendo con otras mallas si es que existiese.

4.8. Soldadura cuproaluminotermica

Las soldaduras cuproaluminotermicas tienen su uso más difundido en las conexiones eléctricas de puesta a tierra para la unión entre:

- a) Cable – Cable
- b) Cable – Jabalina
- c) Cable – Estructuras

En este tipo de conexiones la unión se realiza por aporte de cobre en estado de fusión que incide a una temperatura superior a los 2000°C, esta colada de cobre fundido de altísima temperatura se obtiene a partir de un proceso de reacción exotérmica que genera dentro de un molde de grafito apto para el tipo de unión a ejecutar.

Estas soldaduras se hacen dentro de un molde de grafito fabricado de acuerdo al tipo de unión o conexión a realizar y con un diseño tal que permite que el cobre fundido ataque las piezas a ser soldadas, logrando por el propio shock térmico de corta duración una soldadura con unión molecular y más capacidad de transferencia de corriente que el propio conductor, debido a su mayor sección transversal. De esta manera se obtienen conexiones eléctricas que presentan todas las ventajas de los conectores y morsetos convencionales, pero eliminando los aspectos negativos, como la concentración de esfuerzo térmicos por reducción de sección, la corrosión en superficies sobrepuestas y las fatigas mecánicas por exceso de torque o compresión.