

ÍNDICE

I.	General	1
A.	Introducción	1
B.	Propósito	1
II.	Definiciones	1
III.	Criterios para el Diseño y Análisis de Mallas Conectadas a Tierra	3
IV.	Criterios para la Construcción de Mallas Conectadas a Tierra	6
V.	Conexión de Equipos Energizados a la Malla	6
A.	Transformadores y Convertidores	6
B.	Disyuntores	7
C.	Equipos de Medición (CT y PT)	7
D.	Pararrayos de Líneas	7
E.	Disyuntores de Aire y Planchuelas Conectadas a Tierra	7
F.	Estructuras	8
G.	Seccionadoras Aisladas (<i>Throwover Switches</i>) y Facilidades Eléctricas con Verja, Fuera de Subestaciones, Centrales Generatrices o Centros de Transmisión	8
H.	Casetas de Control	9
I.	Sistemas de Control, Protección y Comunicaciones	9

J.	Subestaciones Movibles	10
K.	Bancos de Capacitores	11
L.	Equipos de Medición Remota	11
M.	Generadores de Emergencia	11
VI.	Conexión de Equipos No Energizados a la Malla	12
VII.	Enmiendas, Revisiones e Intervenciones	12
VIII.	Referencias	12
Anexos		13

**AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE PUERTO RICO
DIRECTORADO DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN**

**MANUAL PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MALLAS CONECTADAS A
TIERRA PARA SUBESTACIONES Y EQUIPOS**

I. General

A. Introducción

Este manual contiene los criterios de seguridad e información necesaria para el diseño y construcción de sistemas de mallas conectadas a tierra para la protección de personas, estructuras y equipos de los riesgos que puedan surgir por fallas en el sistema eléctrico.

Existen varios parámetros que afectan los voltajes que se producen dentro y fuera de una subestación. Algunos de estos parámetros son: la corriente de falla, duración de la falla, resistividad del terreno, material de la gravilla y la configuración de la malla.

Las razones principales para el diseño de los sistemas de conexión a tierra en subestaciones y patios de interruptores son las siguientes:

1. Proveer un ambiente seguro para proteger a las personas dentro de los predios de las subestaciones, patios de interruptores y centrales generatrices, así como al público en general en áreas cercanas a facilidades.
2. Proteger las estructuras y equipos en estas facilidades.
3. Proveer un medio para disipar la corriente a tierra, para que no exceda los límites de operación de los equipos.

B. Propósito

Este manual tiene el propósito de establecer criterios para el diseño y construcción de mallas conectadas a tierra para subestaciones, patios de interruptores, centrales generatrices y seccionadoras aisladas.

II. Definiciones

- A. Ampacidad** - Capacidad de corriente. Valor máximo de la corriente que puede tolerar continuamente un dispositivo o un conductor sin que sufra daños permanentes por alteración de sus propiedades eléctricas, químicas o mecánicas.
- B. Bajante a Tierra** - Conductor de cobre que sirve de conexión entre la malla a tierra y las diferentes partes y equipos de la subestación, los cuales incluyen, pero no están

limitados a: la estructura, la verja, el transformador, los disyuntores, los pararrayos y el equipo de medición y control.

- C. **Banco de Capacitores** - Un conjunto de capacitores y todos los accesorios necesarios (equipos de interruptores, protección, controles, etc.) para una instalación funcional completa de éstos en una localidad.
- D. **Conexión a Tierra** - Camino de conducción eléctrica a la tierra o a algún cuerpo conductor que haga las veces de ésta (por ejemplo: chasis o armazón metálico de un equipo, etc.), que pueda servir de conductor común de retorno de varios circuitos. Puede hallarse a potencial cero con respecto a la tierra o puede estar conectado a ésta.
- E. **Conservación** - Mantenimiento preventivo programado que se le da a los equipos y al sistema eléctrico en general.
- F. **Contratista o Constructor** - Persona natural o jurídica que ejecuta obras de construcción.
- G. **Ground Potential Rise (GPR)** - Voltaje súbito máximo que se produce entre la malla y un punto remoto con potencial igual a cero.
- H. **Halo** - Barra de cobre conectada a tierra que se instala en casetas para atenuar las líneas de flujo magnético causadas por una descarga atmosférica y proteger los equipos de telecomunicaciones.
- I. **Inspección de las Instalaciones Eléctricas** - Fiscalización periódica de la construcción de obras eléctricas que realice un ingeniero o técnico especializado que, para tales fines, haya designado la AEE o el inspector que haya designado el dueño del proyecto, para garantizar que las mismas fueron realizadas conforme a las leyes, reglamentos y normas para la construcción eléctrica.
- J. **Malla Conectada a Tierra** - Conjunto de conductores de cobre sin cubierta y electrodos conectados efectivamente entre sí, que se instalan de forma horizontal bajo tierra, de manera que se disipe cualquier condición de voltaje o corriente no deseado en el sistema. Este sistema provee un punto de tierra común para todos los equipos y estructuras metálicas dentro de la subestación. Toda malla tiene que cumplir con los requisitos de este manual.
- K. **Master Ground Bar (MGB)** - Barra principal de conexión a tierra en una subestación.
- L. **Personal Calificado** - Persona que está preparada y tiene conocimiento de la construcción, conservación y operación del sistema eléctrico, además de las reglas de seguridad correspondientes.
- M. **Resistencia Base (Footing Resistance)** - Resistencia existente entre una configuración de varillas y los primeros estratos (*stratas*) de terreno.

- N. **Soldadura Exotérmica** - Fusión de dos metales por medio de una reacción interna de desprendimiento de energía en forma de calor.
- O. **Varilla a Tierra** - Electrodo metálico que se entierra para la toma de conexión a tierra.
- P. **Voltaje de Toque** - Voltaje que experimenta entre los pies y sus manos o su cuerpo una persona que toque alguna estructura metálica dentro de los predios de una subestación.
- Q. **Voltaje de Paso** - Voltaje que experimenta entre sus pies una persona que camina dentro de los predios de una subestación, cuando la distancia entre sus pies sea de aproximadamente un metro y sus manos o su cuerpo no estén en contacto con ninguna estructura metálica.

III. Criterios para el Diseño y Análisis de Mallas Conectadas a Tierra

- A. Es necesario realizar pruebas de resistividad para la condición de terreno seco antes de diseñar o analizar una malla conectada a tierra.
- B. Las mallas se diseñan para fallas de baja frecuencia. No se consideran fallas de alta frecuencia como descargas atmosféricas para el diseño de las mallas, aunque también ayudan a disiparlas.
- C. La malla se diseña para ser capaz de disipar el 100% de la corriente de falla trifásica o de línea a tierra, la que resulte mayor.
- D. La corriente de falla escogida para el diseño o el análisis la provee la División de Planificación y Estudios para el caso actual o futuro, la que sea mayor.
- E. La duración de la falla está dada por el tiempo de operación de resguardo del sistema de protección de la línea, según se muestra en la Tabla 1.

Tipo de Facilidad	Duración de la Falla Considerando la Operación del Equipo de Resguardo (Segundos)
Central generatriz	0.20 (12 Ciclos)
Centro de transmisión	0.25 (15 Ciclos)
Subestación	0.333 (20 Ciclos)

Tabla 1. Tiempo de duración de falla

- F. Se utiliza como referencia el estándar IEEE-80 vigente, para personas con un peso de 50 kg ó 110 lbs, para calcular los valores de voltajes de paso y de toque máximos permitidos en la subestación, hasta un metro fuera del perímetro o verja de ésta.
- G. La gravilla del diseño de la malla tiene que cumplir con los siguientes requisitos:
1. El valor de resistividad mínimo permitido para el cómputo de análisis es 1,300 ohmios-metros para condición húmeda, con excepción de los casos donde se realicen pruebas para determinar su resistividad. (Vea la Tabla 2)

Núm.	Descripción del Material de Superficie ¹	Resistividad del Material ² (ohmios - metros)	
		Seco	Húmedo
1	<i>Crushed Rock Granite (with fines)</i>	140×10^6	1,300
2	<i>#57 Washed Granite Similar to 3/4 in. Gravel</i>	190×10^6	8,000
3	<i>Clean Limestone Slightly Coarser than Number 2</i>	7×10^6	2,000 - 3,000
4	<i>Washed Granite Similar to 3/4 in. Gravel</i>	2×10^6	10,000
5	<i>Washed Granite Similar to Pea Gravel</i>	40,000	5,000
6	<i>Crushed Aggregate Base Granite (with fines)</i>	---	500 - 1,000
7	<i>Concrete</i>	1,200 - 280,000	21 - 63
8	<i>Asphalt</i>	$2 \times 10^6 - 30 \times 10^6$	$10,000 - 6 \times 10^6$

Tabla 2. Resistividad típica para materiales usados en superficies de subestaciones

2. Aun cuando se especifican 6" de gravilla en los planos de construcción, se requiere utilizar 4" como el valor de diseño o de análisis para compensar por la compactación natural de la gravilla y las variaciones que ocurren al depositarlas en la subestación. (Vea el patrón SMT-1)
 3. Se requiere utilizar gravilla gris tipo *crushed rock granite* de 5/8" a 3/4" de diámetro o similar, que cumpla con el requisito mínimo permitido de resistividad establecido en el inciso III.F.1.
 4. En caso de que el contratista no pueda cumplir con las especificaciones establecidas de gravilla, tiene que someter una prueba certificada de resistividad para condición seca y húmeda del material propuesto. Además, tiene que notificar la metodología utilizada para realizar esta prueba.
- H. El valor máximo de diseño para el GPR es 5,000 voltios.
- I. Todas las estructuras metálicas en la subestación, incluidas las no energizadas, se tienen que conectar a la malla.

¹ El tipo de gravilla blanca no cumple con estas especificaciones.

² Estos parámetros se obtuvieron del estándar IEEE 80-2000.

- J. El diseño de la malla para subestaciones nuevas tiene que cubrir toda el área de la subestación y extenderse un metro hacia afuera de la verja. En casos de subestaciones existentes, donde no se pueda extender la malla un metro hacia afuera de la verja, hay dos alternativas: mover la verja un metro hacia adentro de la subestación o modificar el diseño de la subestación para mantener los voltajes de toque y de paso en la verja a niveles tolerables.
- K. Se requiere que los bajantes a la malla de todas las estructuras y equipos expuestos a fallas sean de cobre sin cubierta con un calibre mínimo de 4/0 AWG.
- L. Las verjas, portones, transformadores de corriente (CT), transformadores de voltaje (PT), pararrayos de líneas, tanques y equipos no energizados dentro de los predios de la subestación, se tienen que conectar a la malla mediante conductor de cobre con calibre mínimo de 1/0 AWG.
- M. Todo equipo se tiene que conectar en por lo menos dos puntos a la malla, con excepción de los bancos de capacitores que se conectan en un solo punto.
- N. Las verjas de las subestaciones se instalan sin cubierta para mantener un equipotencial con respecto a la malla.
- O. Los bajantes a tierra de postes dentro de una subestación tienen que conectarse a la malla a tierra.
- P. El voltaje de toque en la verja tiene que ser menor que el voltaje de toque máximo permitido.
- Q. Los valores típicos de impedancia y de resistencia base requerida para el diseño de la malla son los establecidos en la Tabla 3.

Tipo de Facilidad	Impedancia (Ω)	Resistencia Base Máxima (Ω)
Central generatriz	0 - 1.0	-----
Centro de transmisión	0 - 1.0	-----
Subestación	0 - 2.0	-----
Seccionadoras aisladas (<i>Throwover</i>) y facilidades eléctricas con verjas fuera de subestaciones, centrales generatrices o centros de transmisión	-----	10
Líneas de transmisión	-----	10
Líneas de distribución	-----	5
Torres de comunicación	-----	5

Tabla 3. Impedancia o resistencia base requerida

IV. Criterios para la Construcción de Mallas Conectadas a Tierra

- A. Toda malla nueva se tiene que construir a una profundidad mínima de 1'- 6".
- B. El conductor a utilizarse para la construcción y reparación de mallas tiene que ser de cobre sin cubierta, con calibre mínimo de 4/0 AWG.
- C. La malla tiene que cubrir toda el área de la subestación y extenderse un metro hacia afuera de la verja. (Vea el patrón SMT-1A)
- D. Para construcción de mallas nuevas se prefiere utilizar conexiones por soldadura exotérmica tipo *Cadweld* o similar. También, pueden utilizarse conexiones por compresión.
- E. Para reparación de mallas existentes se pueden utilizar conectores de compresión. La Autoridad no acepta conectores tipo *split bolt*.
- F. Se requiere utilizar varillas de acero revestidas de cobre tipo *copper-clad* de 3/4" de diámetro por 8 pies de largo.
- G. El número de varillas a instalarse y la distancia entre éstas se determina por el diseño de la malla.

V. Conexión de Equipos Energizados a la Malla

A. Transformadores y Convertidores (Vea el patrón SMT-2)

- 1. Se requiere un mínimo de cinco bajantes a la malla conectada a tierra, según se describen a continuación:
 - a. **Terminal Xo** - Conductor de cobre con calibre mínimo de 4/0 AWG, seleccionado según el estudio de cortocircuito, instalado en tubería PVC-SCH 80.
 - b. **Pararrayos en lado de alto voltaje** - Conductor de cobre con calibre mínimo de 4/0 AWG, instalado en tubería PVC- SCH 80.
 - c. **Pararrayos en lado de bajo voltaje** - Conductor de cobre con calibre mínimo de 4/0 AWG, instalado en tubería PVC- SCH 80.
 - d. **Armazón** - Dos bajantes de cobre con calibre mínimo de 4/0 AWG, conectados en lados opuestos del transformador.
 - e. **Gabinete central de control** - Un bajante de cobre con calibre Núm.6 AWG conectado al electrodo más cercano del armazón. Se utilizan conectores de compresión.

2. En el gabinete central de control del transformador se provee una barra común a tierra en cobre de 6" x 1" x 3/16" para conectar todo equipo de protección y medición. Se utilizan terminales de ojo (*hysealug*) iguales o similares al *Burndy*.
3. El armazón de los transformadores de distribución se conecta directamente a la malla con conductor de cobre con calibre mínimo de Núm. 2 AWG.

B. Disyuntores (Vea el patrón SMT-3)

1. Se requieren dos bajantes de cobre sin cubierta calibre 4/0 AWG, conectados de lados opuestos del disyuntor a puntos diferentes de la malla.
2. Los bajantes se conectan a la malla con terminales de ojo (*hysealug*).
3. En el gabinete de control se provee una barra común en cobre de 6" x 1" x 3/16" para conectar los diferentes accesorios. Esta barra se conecta al bajante a la malla más cercano, con un conductor de cobre con calibre mínimo de Núm. 6 AWG. Se utilizan conectores para derivación tipo C.

C. Equipos de Medición (CT y PT)

1. El armazón del equipo se conecta directamente a la malla con un conductor de cobre sin cubierta con calibre mínimo de 1/0 AWG.
2. La secundaria del equipo se conecta a la barra común localizada en la caseta de control o gabinete de medición con un conductor de cobre con cubierta color verde y calibre Núm. 10 AWG.

D. Pararrayos de Líneas

La base del pararrayos se conecta directamente a la malla con un conductor de cobre sin cubierta con calibre mínimo de 1/0 AWG.

E. Disyuntores de Aire y Planchuelas Conectadas a Tierra
(Vea el patrón SMT-4)

1. El operador del disyuntor de aire se conecta al tubo de operación mediante un conductor de cobre trenzado flexible (*flexible copper braid*) similar al *Burndy Type B*. El tubo de operación del disyuntor de aire se conecta al bajante a tierra de la estructura mediante un conductor de cobre trenzado flexible. Éste se conecta a la malla con un conductor de cobre con calibre mínimo de 4/0 AWG sin utilizar la estructura como puente.
2. Los conductores trenzados flexibles se conectan a la planchuela conectada a tierra con un conductor de cobre con calibre mínimo de 4/0 AWG mediante un terminal de ojo.

3. Las planchuelas conectadas a tierra tienen que ser sólidas, de acero galvanizado o aluminio corrugado, con un espesor mínimo de 1/4". La Autoridad no acepta planchuelas de rejilla (*grid*).
4. El tamaño de las planchuelas conectadas a tierra se determina de acuerdo con el área de operación.
5. Las planchuelas se instalan sobre una base de hormigón con un espesor de cuatro pulgadas sobre el nivel de la gravilla. Éstas se conectan a la malla mediante dos puntos: uno del bajante de la estructura a la malla y el otro directamente a la malla.
6. En los disyuntores de aire de operación en conjunto (*GOABS*) de 230, 115 y 38 kV, se utilizará un conductor de cobre con calibre mínimo de 4/0 AWG para conectar la base del interruptor (machete) directamente a la malla.

F. Estructuras

1. Las estructuras se conectan a la malla en cada soporte con un conductor de cobre con calibre mínimo de 4/0 AWG.
2. Se requiere proveer conexión desde la parte superior de la estructura hasta la base.
3. En construcciones nuevas, se requiere proveer una barra común de 1' x 4" x 1/4" para la conexión a tierra en la estructura donde se encuentran los auxiliares para conectar la subestación portátil. Esta barra se conecta a la malla con un conductor de cobre con calibre mínimo de 4/0 AWG y terminal de ojo.
4. Las estructuras de telecomunicaciones se conectan a la malla con un conductor de cobre con calibre mínimo de 4/0 AWG. Se requiere proveer conexión desde la base de la torre a la malla conectada a tierra o a una varilla, según sea el caso.

G. Seccionadoras Aisladas (*Throwover Switches*) y Facilidades Eléctricas con Verja, Fuera de Subestaciones, Centrales Generatrices o Centros de Transmisión (Vea el patrón SMT-1B)

1. Se requiere instalar un electrodo un metro hacia afuera de cada esquina de la verja. Estos electrodos se conectan entre sí con conductor de cobre sin cubierta de calibre 4/0 AWG, de manera que formen un lazo alrededor de la verja, aproximadamente a 3 pies de distancia hacia afuera de ésta.
2. Los bajantes a tierra de las estructuras tienen que ser de cobre sin cubierta, con calibre mínimo de 4/0 AWG y tienen que conectarse a la malla.

H. Casetas de Control

1. Las varillas de construcción del piso de las casetas de control se conectan a la malla con conductor de cobre con calibre mínimo de 1/0 AWG.
2. En casetas con trincheras (Vea el patrón SMT-5) se provee una barra común principal (*Master Ground Bar - MGB*) de 4" x 1/4" x 2', la cual se conecta a la malla en un punto mediante dos conductores de cobre con calibre mínimo de 4/0 AWG y terminales de ojo (*hysealug*). Esta barra tiene que estar localizada a 6" de la superficie en la trinchera de entrada del panel de control.
3. En casetas con bandejas de conductores (*cable trays*), éstas se conectan en un solo punto a la barra común principal (*MGB*) con conductor de cobre con calibre mínimo de Núm. 6 AWG. (Vea el patrón SMT-5A)
4. Dentro de las casetas o estructuras en subestaciones aisladas por gas (*GIS*), las conexiones a tierra de los equipos se realizan únicamente con barras, excepto para los transformadores.
5. A las acometidas de agua potable en tuberías metálicas se les instala un niple de plástico no conductivo que se extienda desde la verja hasta 30 pies hacia afuera de la subestación.

I. Sistemas de Control, Protección y Comunicaciones

1. Para la conexión a tierra en cada panel de control se provee una barra común de 2' x 2" x 1/4" continua que se instala en la parte interior del panel a una altura máxima de 4". En los casos en que la barra no pueda ser continua, se tienen que instalar barras adyacentes conectadas entre sí con conductor de cobre de calibre 1/0 AWG y terminales de ojo (*hysealug*).
2. Para proveer tierra mecánica a los relés de protección, se utiliza conductor de cobre con cubierta verde, con calibre mínimo de Núm. 12 AWG, 600 V. Éstos se conectan entre sí y a su vez a la barra común principal del sistema de protección.
3. La barra común principal se conecta a la malla en un solo punto. Para esta conexión se utiliza conductor de cobre con calibre mínimo de 4/0 AWG y terminales de ojo (*hysealug*).
4. Los siguientes equipos se tienen que conectar a la barra común principal a tierra:
 - a. **RTU** - Se utiliza conductor de cobre con cubierta verde Núm.6 AWG, 600 V.

- b. **Estructura de banco de baterías** - Se utiliza conductor de cobre con cubierta verde Núm. 2 AWG, 600 V.
 - c. **Cargadores de baterías** - Se utiliza conductor de cobre con cubierta verde Núm. 6 AWG, 600 V.
 - d. **Panel de distribución** - Se utiliza conductor de cobre con cubierta verde Núm. 2 AWG, 600 V.
5. Si alguno de estos equipos está en otro cuarto de la caseta de control, se tiene que conectar a una barra auxiliar a tierra. Se utiliza conductor de cobre con calibre mínimo de 1/0 AWG para conectar la barra auxiliar a la barra principal a tierra en el panel de control principal.
 6. Los equipos de telecomunicaciones se tienen que conectar a una barra auxiliar a tierra, de tamaño 1' x 2" x 1/4", con un conductor de cobre Núm. 6 AWG y de ésta a la barra común principal con un conductor de cobre con calibre de 1/0 AWG.
 7. En casetas con equipo de telecomunicaciones se requiere instalar un halo compuesto por una barra de cobre con dimensiones mínimas de 1/4" x 4" (Vea el patrón SMT-5B). Se instala a una distancia mínima de 6" del techo y 2" de la pared. El halo tiene que cubrir todo el perímetro del techo. Se conectan al halo únicamente las puertas y ventanas de la caseta, mediante conductor de cobre con cubierta con calibre mínimo de Núm. 6 AWG, 600V. Este halo se tiene que conectar en por lo menos dos puntos directamente a la malla, mediante conductor de cobre sin cubierta con calibre mínimo de 4/0 AWG.

J. Subestaciones Movibles (Vea el patrón SMT-6)

1. El terminal Xo se conecta directamente a la malla a tierra con un conductor de cobre con calibre mínimo de 4/0 AWG, instalado en tubería PVC-SCH 80.
2. El armazón de la subestación movable se conecta en un solo punto a la malla con conductor de cobre con calibre mínimo de 4/0 AWG.
3. En aquellos casos en que la subestación movable se instale fuera de los predios de la subestación:
 - a. El terminal Xo se tiene que conectar al neutral común del sistema y a una configuración de varillas a tierra. Se utiliza un medidor de corriente tipo quijada (*clamp-no meter*) o el Método Wenner de Tres Puntos (*Wenner Three Point Fall of Potential Method*) para realizar pruebas de resistencia base (*footing resistance*).
 - b. El armazón se conecta a la configuración de varillas con un conductor de cobre con calibre mínimo de 4/0 AWG.

- c. El valor máximo permitido de resistencia base para la configuración de varillas es de 5 ohmios. Para calcular la resistencia base teórica vea los Anexos 1 y 1-A.
- d. La verja de protección tiene que conectarse a la configuración de varillas diseñada.

K. Bancos de Capacitores (Vea los patrones SMT-7 y 7A)

- 1. En la configuración correspondiente a bancos conectados en estrella con el neutral derivado a tierra, la conexión a tierra de los capacitores en las tres fases se hace a la base de la estructura y a la malla en un solo punto, con un conductor de cobre con calibre mínimo de 4/0 AWG.
- 2. Los bajantes a tierra de los bancos de capacitores no se pueden conectar a los bajantes a tierra de las verjas debido a los desbalances que se producen.

L. Equipos de Medición Remota (Vea los patrones SMT-8 y 8A)

- 1. Para la conexión a tierra del *Modulation Transformer Unit (MTU)* se requiere un mínimo de tres bajantes a tierra.
 - a. El armazón se conecta con un bajante de cobre directo a la malla, con calibre mínimo de 4/0 AWG.
 - b. El neutral primario del *MTU* se conecta a la malla a través del *Outbound Modulation Unit (OMU)*.
 - c. El neutral secundario se conecta a la barra a tierra del *OMU* y de ésta a la malla con conductor de cobre con calibre mínimo de 4/0 AWG.
- 2. Para la conexión a tierra del *OMU* se requiere un bajante de cobre directo a la malla con calibre mínimo de 4/0 AWG.
- 3. Para la conexión a tierra del *Control and Receiving Unit (CRU)*, se conecta directo a la malla un bajante de cobre con cubierta verde, con calibre mínimo de Núm. 2 AWG. Este bajante no se conecta a la barra común principal en la caseta de control.

M. Generadores de Emergencia

- 1. Se utiliza un conductor de cobre sin cubierta con calibre mínimo de 1/0 AWG para conectar el armazón del generador directamente a la malla.
- 2. El conmutador de transferencia de carga (*load-transfer switch*) se conecta a una de las barras auxiliares a tierra en la caseta de control con un conductor de cobre con cubierta Núm. 6 AWG, 600 V.

VI. Conexión de Equipos No Energizados a la Malla

Se requiere que las verjas y portones (Vea el patrón SMT-9) cumplan con los siguientes requisitos:

- A. La verja se construye con alambre eslabonado galvanizado sin cubierta plástica. Se tiene que utilizar conductor de cobre con calibre mínimo de 1/0 AWG como bajante a la malla. Se instalan varillas para conexión a tierra cada 20 pies en subestaciones pequeñas y cada 40 pies en centros de transmisión.
- B. Los tubos galvanizados de la verja se conectan al bajante para conexión a tierra con conectores iguales o similares al tipo *GAR* de *Burndy*.
- C. El alambre de púas sobre la verja se conecta al bajante a la malla de la verja, con un conductor de cobre sin cubierta con calibre mínimo de Núm. 6 AWG, mediante conectores de compresión.
- D. Se tiene que proveer conexión entre el portón de entrada y su base mediante un conductor de cobre trenzado flexible, el cual se conecta a los tubos galvanizados con un conector tipo *GAR*.
- E. En los portones corredizos se tienen que conectar ambos extremos del canal de guía a la malla con conductor de cobre con calibre mínimo de 1/0 AWG.
- F. Las verjas de las subestaciones tienen que estar aisladas de las verjas colindantes.

VII. Enmiendas, Revisiones e Intervenciones

- A. Las enmiendas a este manual serán coordinadas y adaptadas por la Oficina de Normas y Procedimientos con la aprobación del Comité de Mallas Conectadas a Tierra.
- B. Las revisiones a este manual serán responsabilidad de la Oficina de Normas y Procedimientos y se realizarán periódicamente.

VIII. Referencias

- A. *ANSI/IEEE Standard 80-2000*
- B. *National Electrical Safety Code*
- C. *Electrical Transmission and Distribution Reference Book, Westinghouse*

ANEXOS

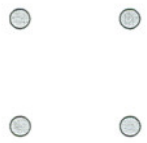
Número de Varillas*	Configuración $A = r$	Resistencia Base (ohmios): $R_B = \frac{3.28\rho \ln \left[\frac{2L}{r} \right]}{2\pi N L}$	
		Varilla de 5/8" x 8' $S > 8'$ $D = 0.625''$	Varilla de 3/4" x 10' $S > 10'$ $D = 0.75''$
2		$R_B = 0.2095\rho$	$R_B = 0.1687\rho$
3		$R_B = 0.1397\rho$	$R_B = 0.1124\rho$
4		$R_B = 0.1047\rho$	$R_B = 0.0843\rho$
A: distancia media geométrica (<i>DMG</i>) ρ: resistividad aparente del terreno en ohmios- metros L: largo de la varilla S: separación entre varillas r: radio de la varilla N: número de varillas D: diámetro de la varilla			

Tabla 4. Cálculo de Resistencia Base para arreglos de varillas a tierra con una separación entre varillas mayor que la longitud de éstas

***NOTA:** La resistencia base para una configuración de **una sola varilla** se calcula mediante las siguientes fórmulas:

- a) Varilla de 5/8" x 8', $S < 8'$, $D = 0.625''$: $R_B = 0.4190\rho$ (ohmios)
- b) Varilla de 3/4" x 10', $S < 10'$, $D = 0.75''$: $R_B = 0.3373\rho$ (ohmios)

Número de Varillas*	Configuración $A = \sqrt[N]{r S_1 S_2 \dots S_{N-1}}$	Resistencia Base ³ (ohmios): $R_B = \frac{3.28\rho \ln \left[\frac{2L}{A} \right]}{2\pi L}$	
		Varilla de 5/8" x 8' S < 8' D = 0.625"	Varilla de 3/4" x 10' S < 10' D = 0.75"
2		$R_B = 0.06525\rho \ln \left[\frac{99.15}{\sqrt{S}} \right]$	$R_B = 0.0522\rho \ln \left[\frac{113.14}{\sqrt{S}} \right]$
3		$R_B = 0.06525\rho \ln \left[\frac{53.98}{\sqrt[3]{S_1 S_2}} \right]$	$R_B = 0.0522\rho \ln \left[\frac{63.50}{\sqrt[3]{S_1 S_2}} \right]$
4		$R_B = 0.06525\rho \ln \left[\frac{39.83}{\sqrt[4]{S_1 S_2 S_3}} \right]$	$R_B = 0.0522\rho \ln \left[\frac{47.57}{\sqrt[4]{S_1 S_2 S_3}} \right]$
A: distancia media geométrica (DMG) ρ: resistividad aparente del terreno en ohmios- metros L: largo de la varilla S: separación entre varillas r: radio de la varilla N: número de varillas D: diámetro de la varilla			

Tabla 5. Cálculo de Resistencia Base para arreglos de varillas a tierra con una separación entre varillas menor que la longitud de éstas

***NOTA:** La resistencia base para una configuración de **una sola varilla** se calcula mediante las siguientes fórmulas:

- a) Varilla de 5/8" x 8', S < 8', D = 0.625": $R_B = 0.4190\rho$ (ohmios)
- b) Varilla de 3/4" x 10', S < 10', D = 0.75": $R_B = 0.3373\rho$ (ohmios)

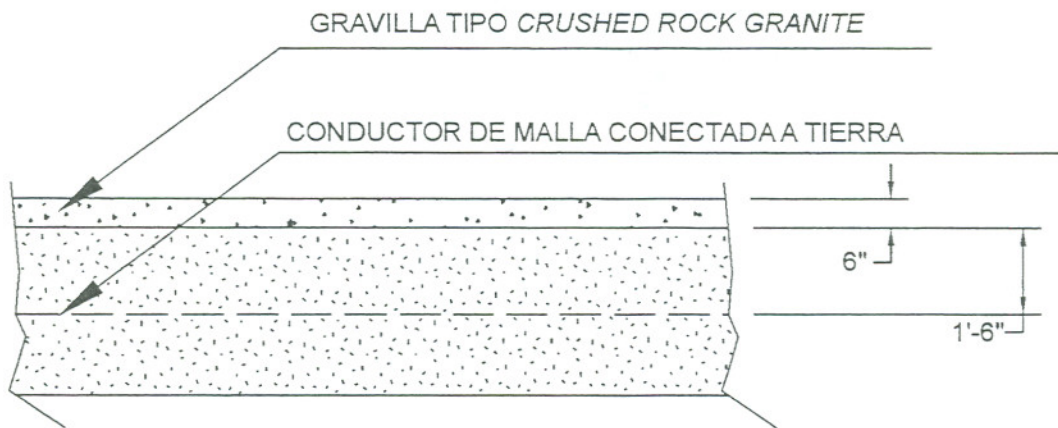
³ Los resultados de los valores de resistencia base al utilizar las fórmulas son los menores de acuerdo con los largos y diámetros seleccionados.

ANEXO 2

**Lista de Materiales para Sistemas de Mallas
Conectadas a Tierra en Subestaciones**

Artículo	Descripción	Número de Código
1	<i>HYSEALUG</i> 4/0 <i>Burndy</i> tipo <i>YGHA</i> , <i>YGA</i> o similar	038-00786
2	<i>HYSEALUG</i> Núm. 2 <i>Burndy</i> tipo <i>YGHA</i> , <i>YGA</i> o similar	002-09833
3	Cable TW Núm. 12, Verde	040-00774
4	Cable 1/0 AWG, Cobre	040-00287
5	Cable Núm. 4 AWG, Cobre	040-00162
6	Cable Núm. 6 AWG, Cobre	040-00440
7	Varilla de tierra 5/8 " x 8'	002-02465
8	Conector 5/8" para varilla de conexión a tierra	002-13595
9	Planchuela de acero galvanizado 3' x 4' x 1/4"	002-07753
10	Cinta flexible de cobre <i>Burndy</i> tipo B o similar	No Codificado
11	Conector <i>Burndy</i> tipo <i>GAR</i> o similar	No Codificado
12	Conector por soldadura <i>Cadweld</i> o similar	No Codificado
13	Cable 4/0 AWG, Cobre	006-01526

**PATRONES DE CONSTRUCCIÓN
SISTEMA DE MALLAS CONECTADAS A TIERRA
(SMT)**



SECCIÓN DE MALLA CONECTADA A TIERRA

	AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA			
	DETALLE DE GRAVILLA			
ESCALA:	N.T.S.	SAN JUAN, PUERTO RICO	SMT-1	

LEYENDA:

- ① CONECTOR CADWELD TIPO GT
- CONECTOR CADWELD TIPO NC
- CONECTOR CADWELD TIPO XB
- ⊕ CONECTOR CADWELD TIPO GAR
- ▶ CONECTOR CADWELD TIPO TA



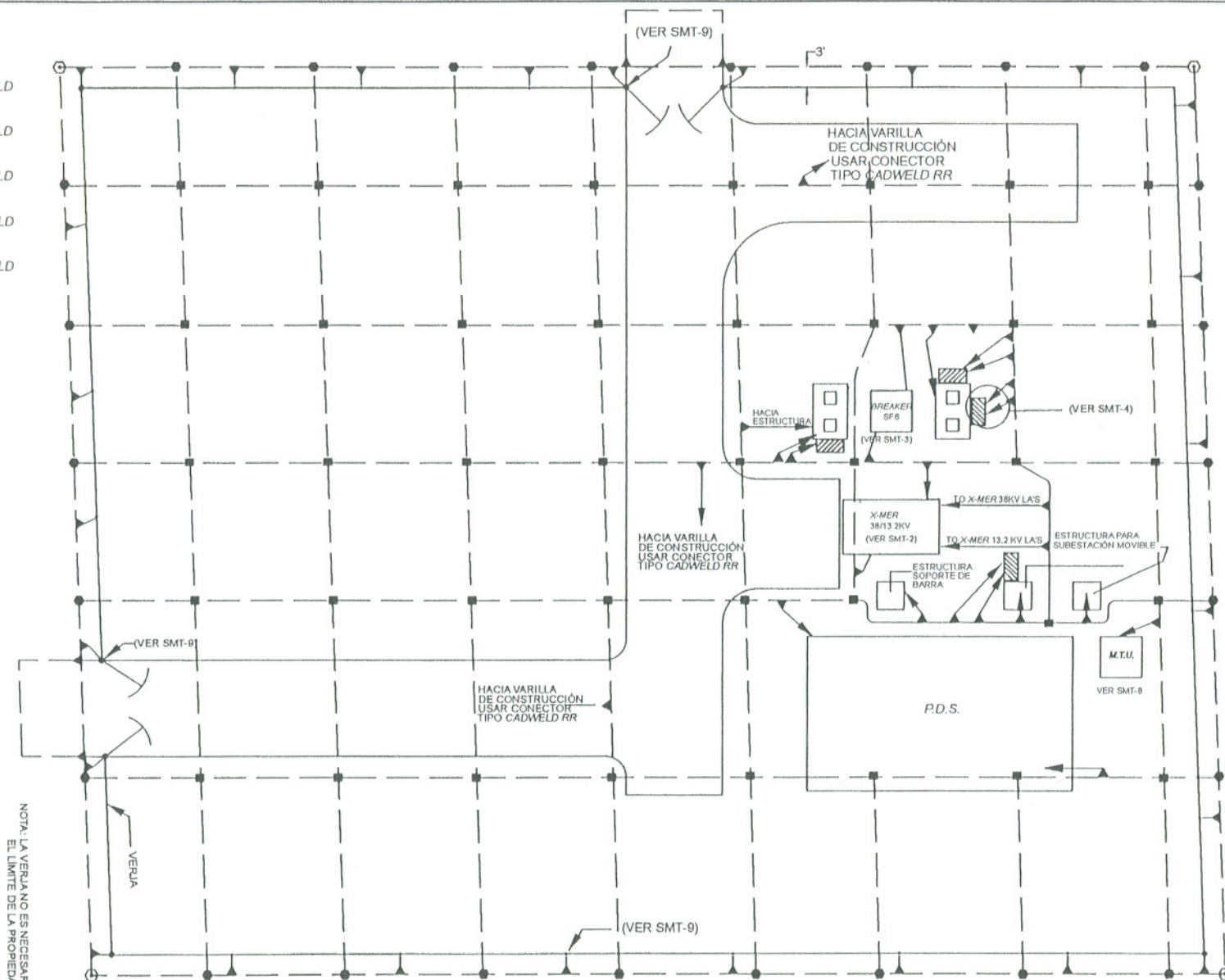
AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

DISEÑO DE MALLA
 EN UNA SUBESTACIÓN
 TÍPICA

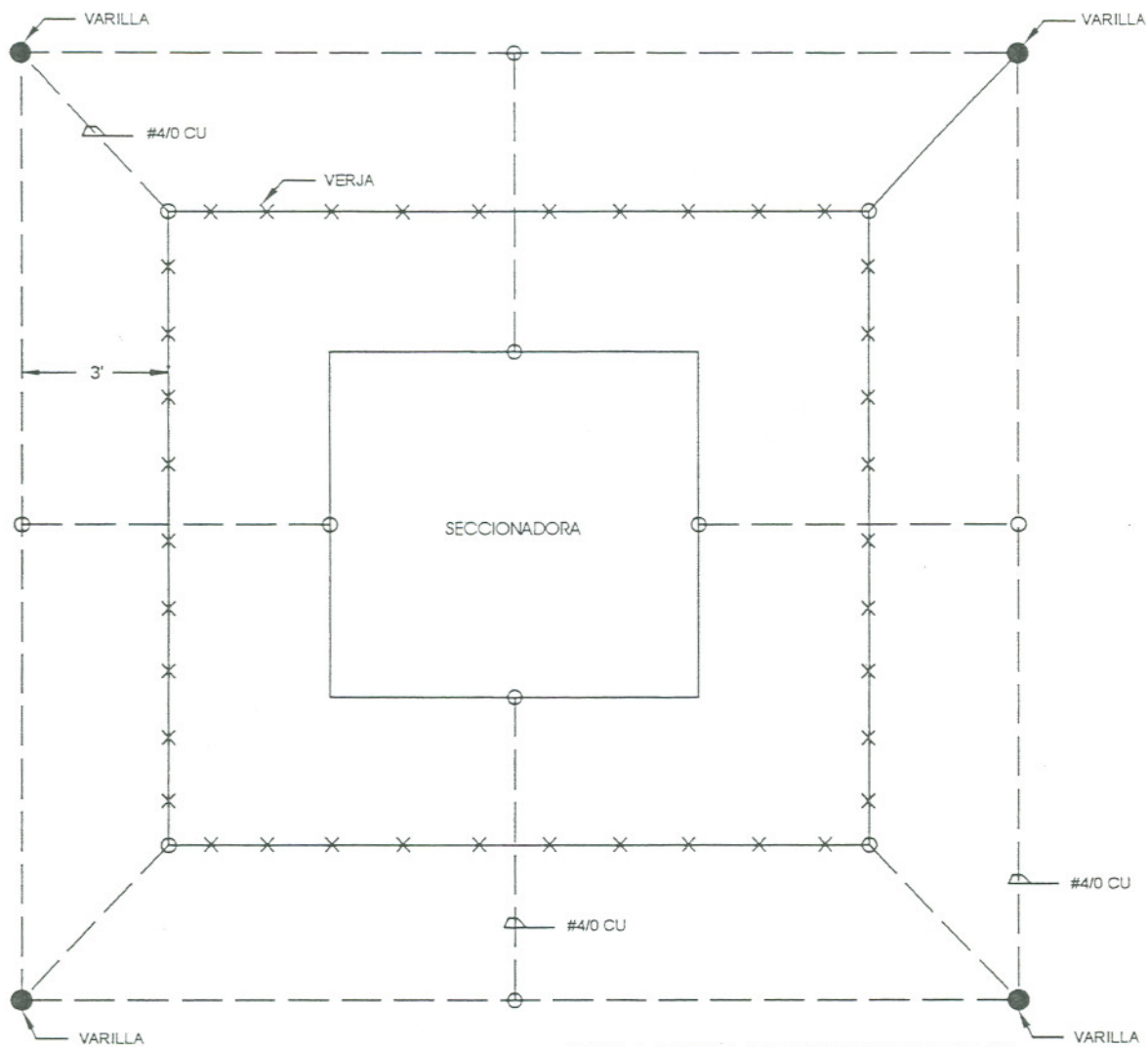
ESCALA: N.T.S.

SAN JUAN, PUERTO RICO

SMT-1A



NOTA: LA VERJA NO ES NECESARIAMENTE EL LIMITE DE LA PROPIEDAD



NOTA: LA VERJA NO ES NECESARIAMENTE EL LÍMITE DE LA PROPIEDAD



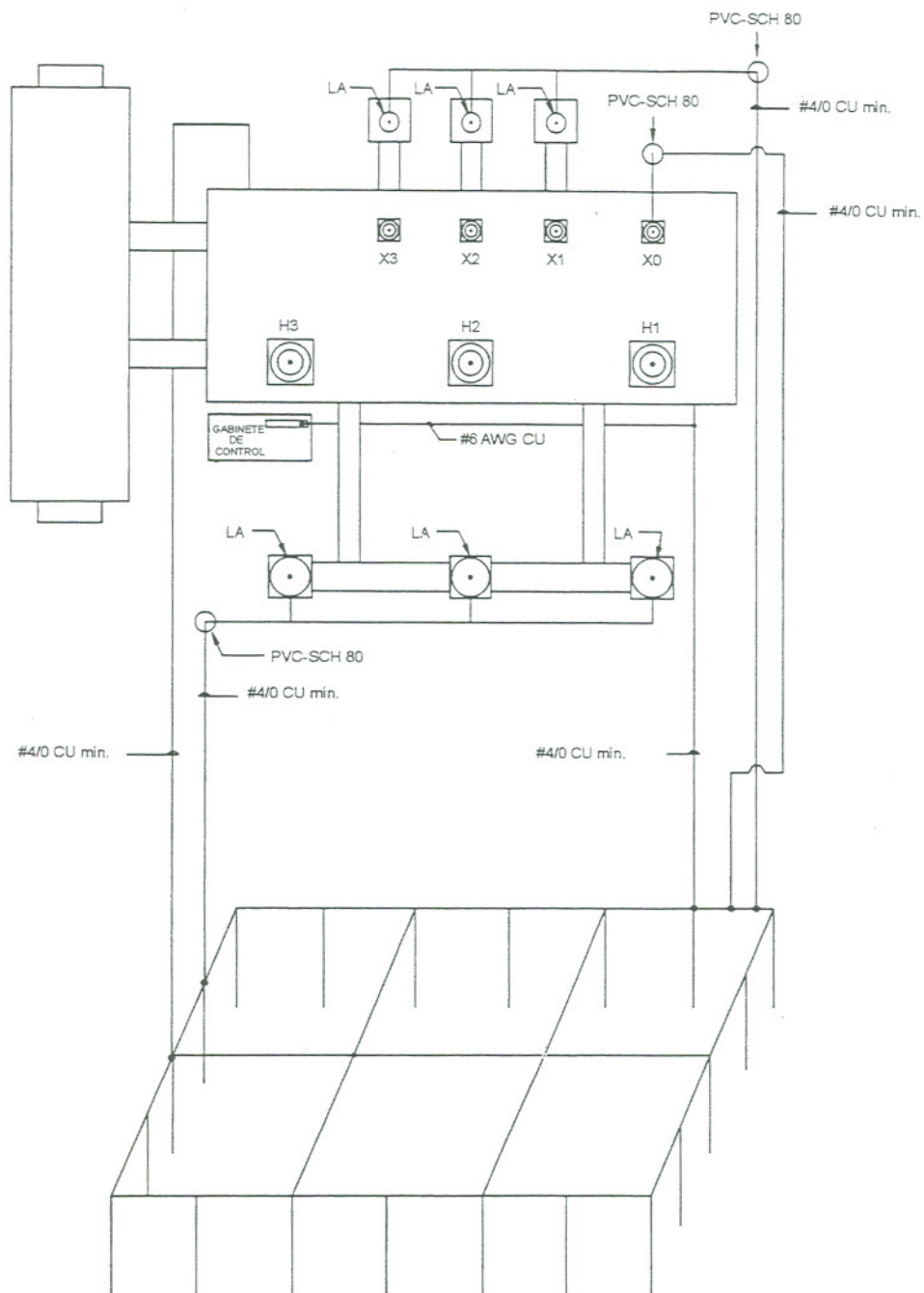
AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

DETALLE DE
SECCIONADORA AISLADA

ESCALA: N.T.S.

SAN JUAN, PUERTO RICO

SMT-1B



MALLA CONECTADA A TIERRA



AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

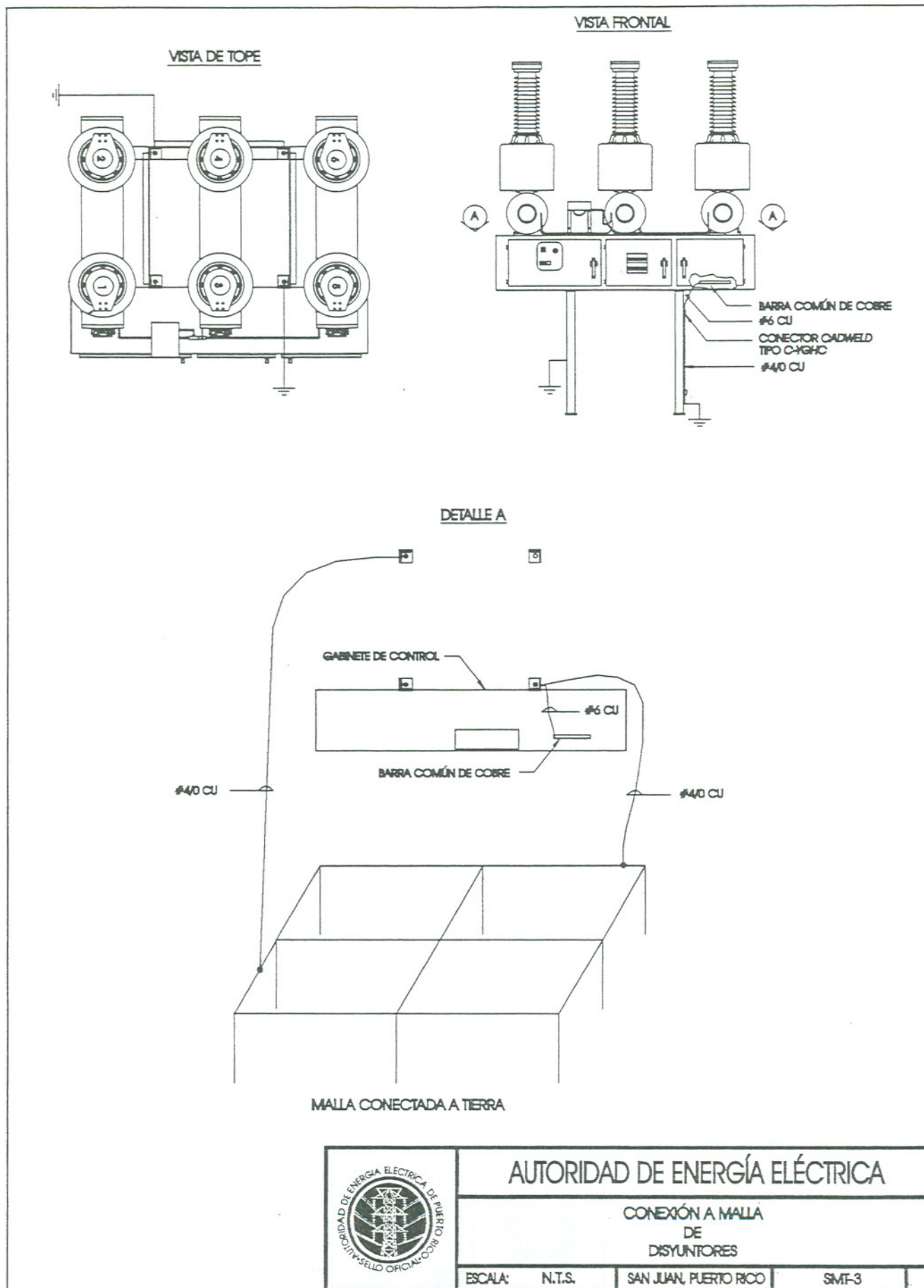
CONEXIÓN A MALLA
DE TRANSFORMADORES
Y CONVERTIDORES

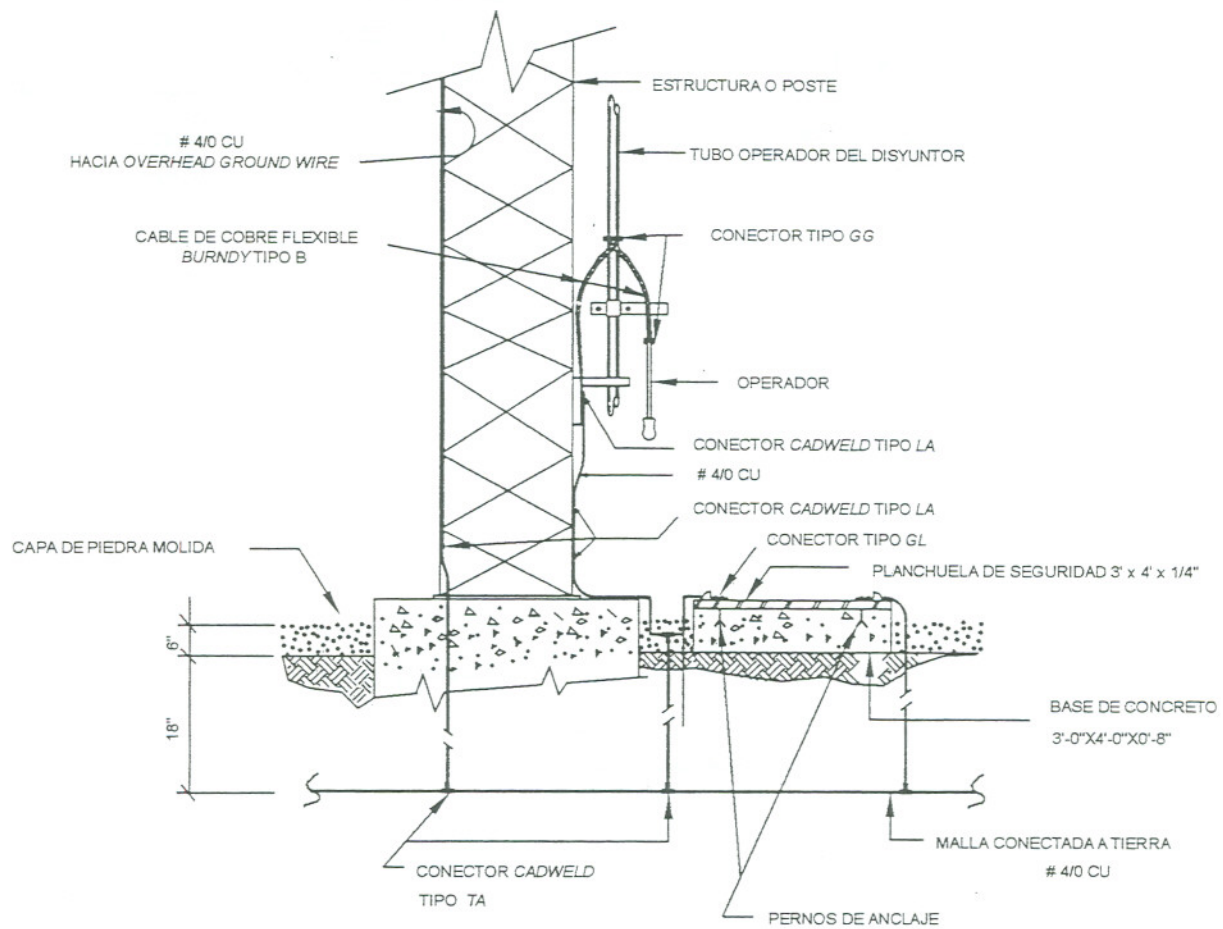
ESCALA:

N.T.S.

SAN JUAN, PUERTO RICO

SMT-2





AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

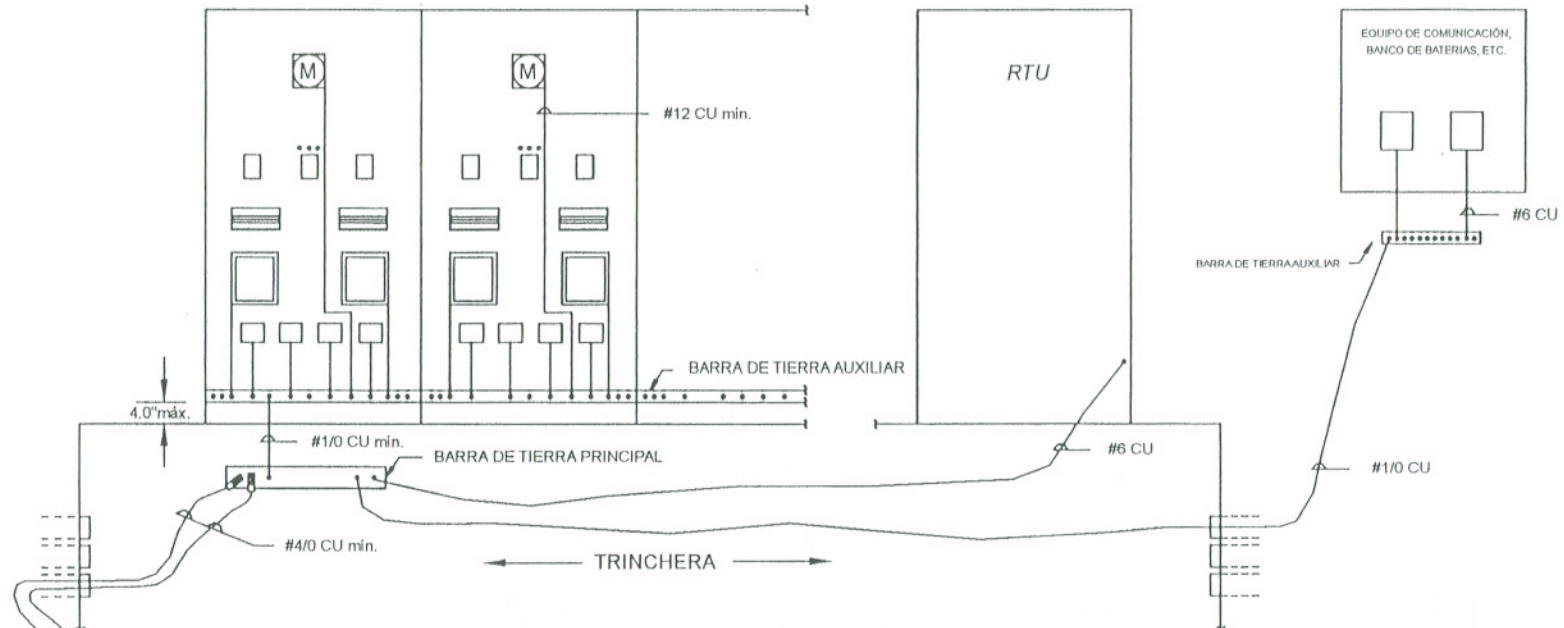
CONEXIÓN A MALLA DE
PLANCHUELAS Y
DISYUNTORES DE AIRE

ESCALA: N.T.S.

SAN JUAN, PUERTO RICO

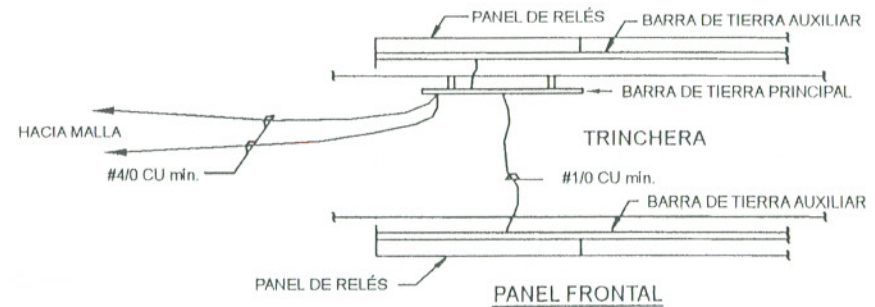
SMT-4

VISTA FRONTAL



DETALLE DE TRINCHERA (VISTA DE TOPE)

PANEL POSTERIOR



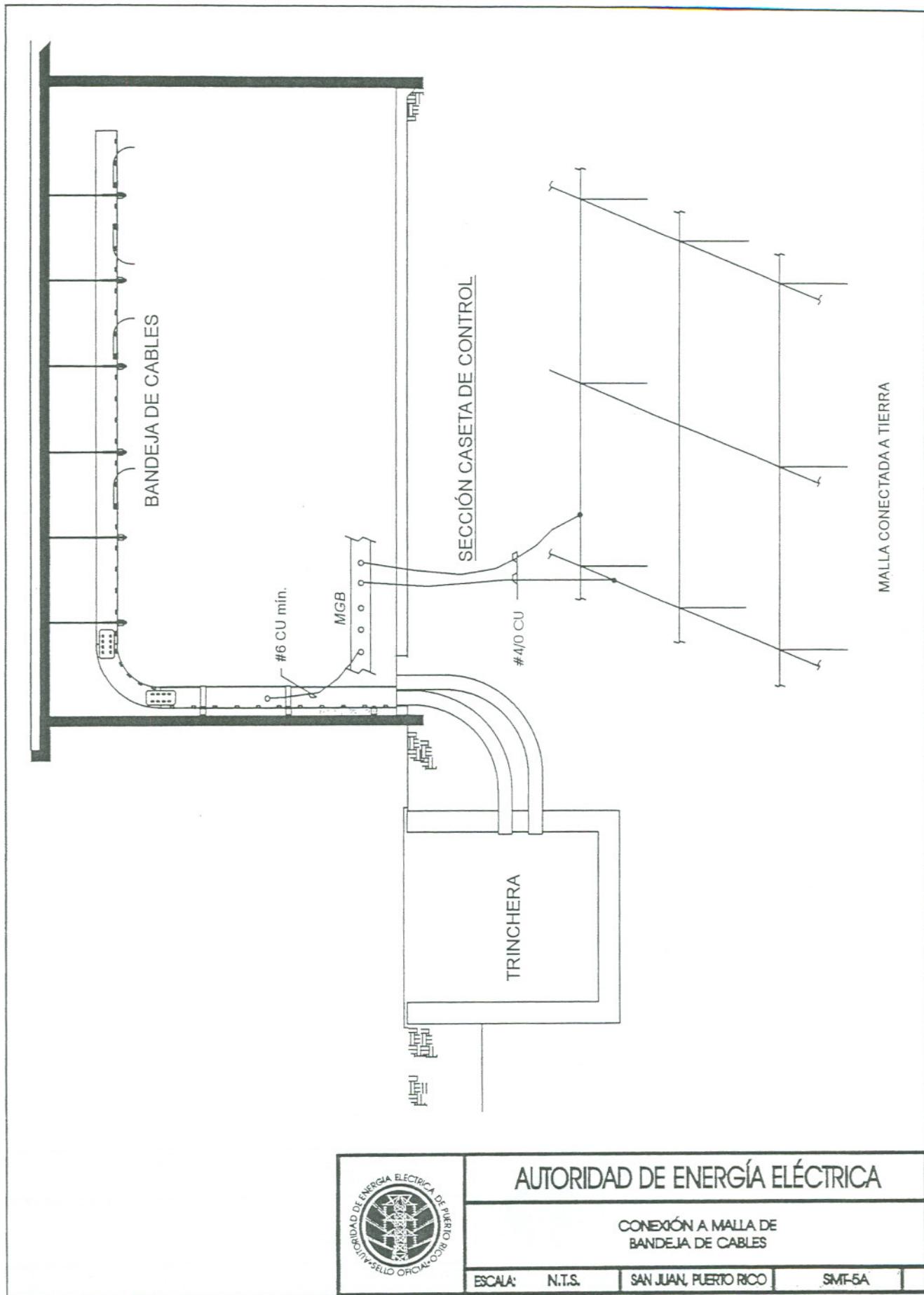
MALLA CONECTADA A TIERRA



AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

CONEXIÓN A MALLA DE
EQUIPO EN CASETAS DE CONTROL

ESCALA: N.T.S. SAN JUAN, PUERTO RICO SMF-5



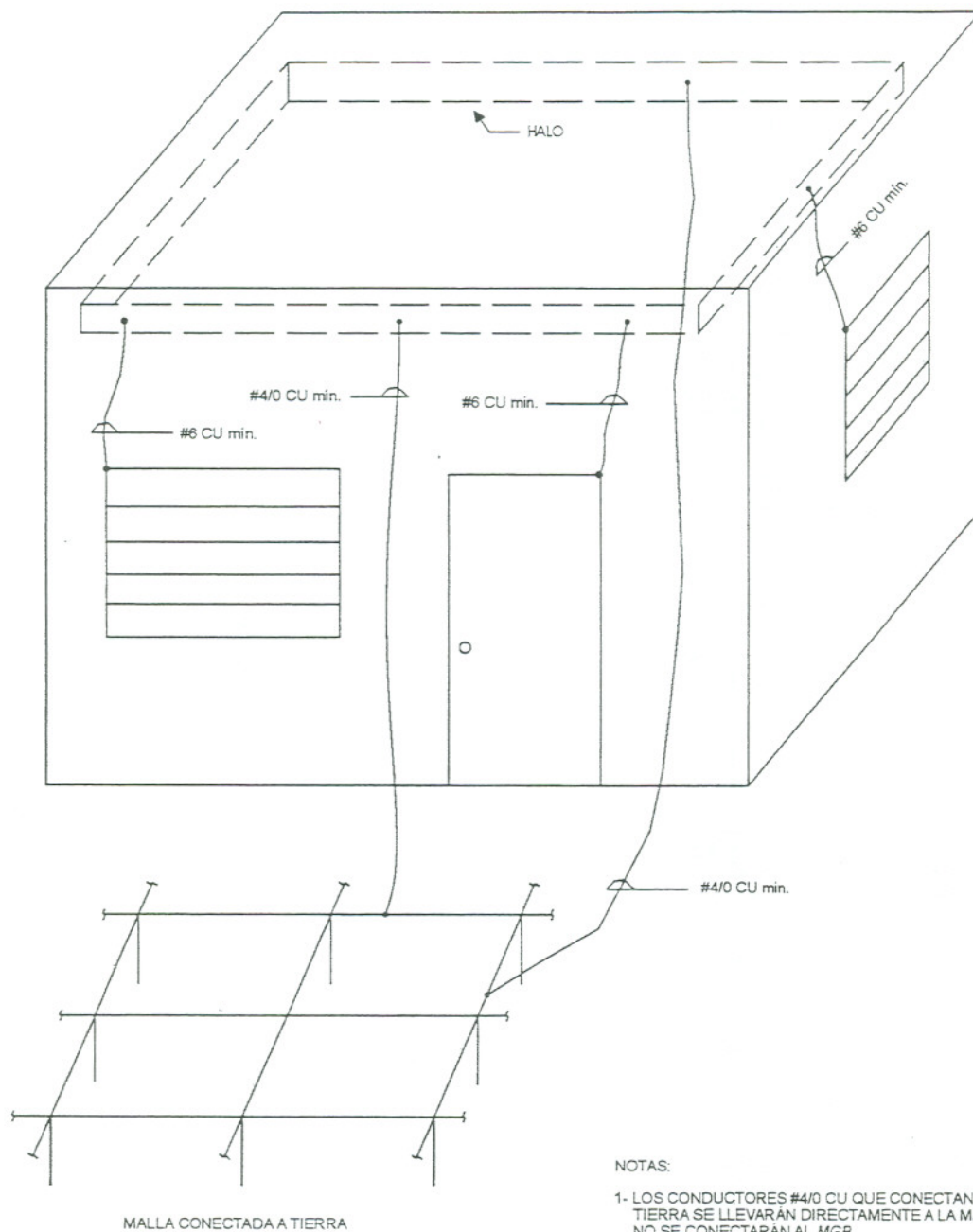
AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

CONEXIÓN A MALLA DE
BANDEJA DE CABLES

ESCALA: N.T.S.

SAN JUAN, PUERTO RICO

SMT-5A



NOTAS:

- 1- LOS CONDUCTORES #4/0 CU QUE CONECTAN EL HALO A TIERRA SE LLEVARÁN DIRECTAMENTE A LA MALLA, NO SE CONECTARÁN AL MGB.
- 2- TODOS LOS CABLES DE PUERTAS Y VENTANAS QUE VAN AL HALO DEBEN TENER AISLAMIENTO DE 600V.



AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

DETALLE DE
HALO

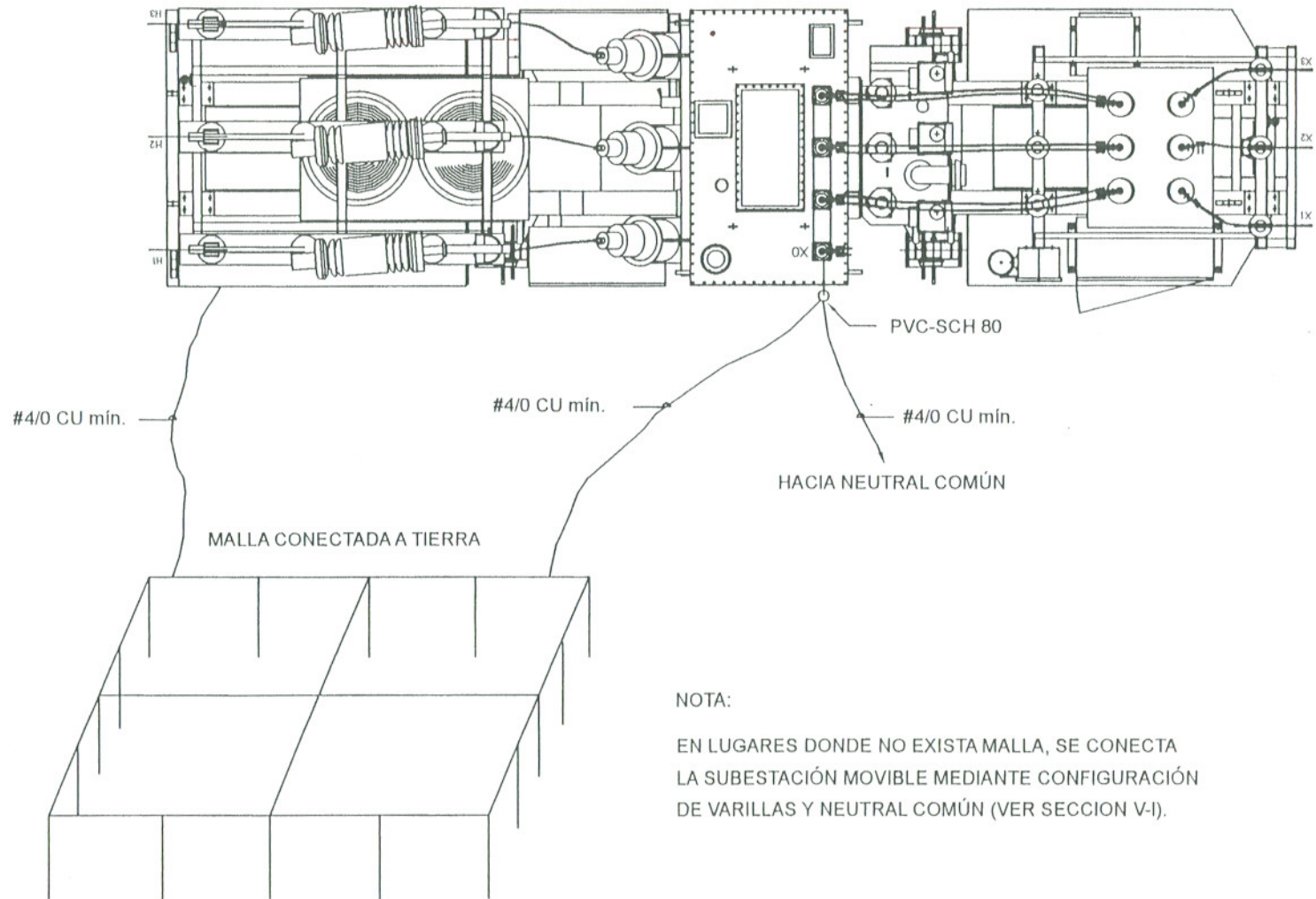
ESCALA:

N.T.S.

SAN JUAN, PUERTO RICO

SMT-58

VISTA DE TOPE



NOTA:

EN LUGARES DONDE NO EXISTA MALLA, SE CONECTA LA SUBESTACIÓN MOVIBLE MEDIANTE CONFIGURACIÓN DE VARILLAS Y NEUTRAL COMÚN (VER SECCION V-I).



AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

CONEXIÓN A MALLA
DE SUBESTACIÓN
MOVIBLE

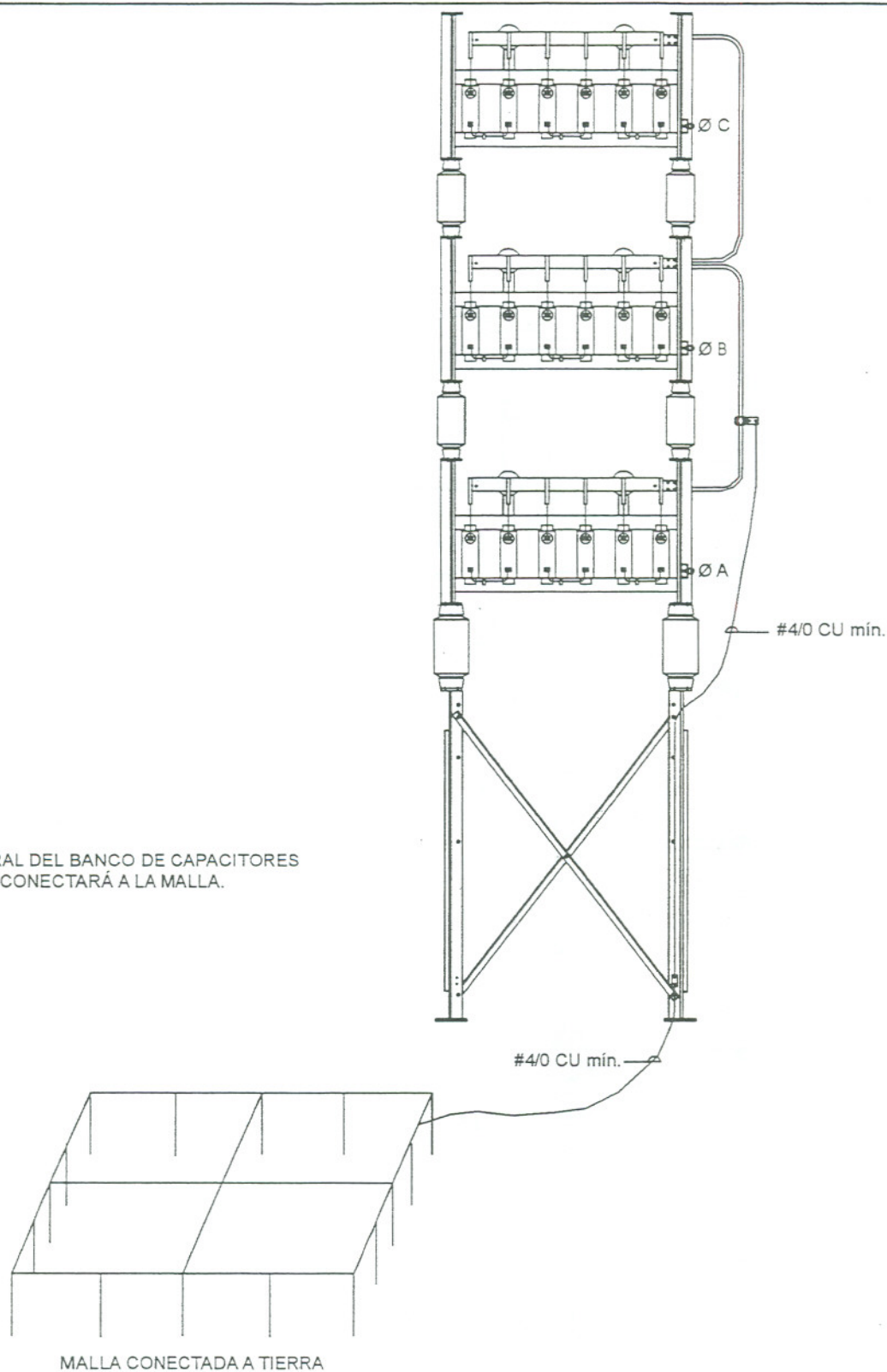
ESCALA

N.T.S.

SAN JUAN, PUERTO RICO

SMF-6

NOTA: EL NEUTRAL DEL BANCO DE CAPACITORES
SÓLO SE CONECTARÁ A LA MALLA.



AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

CONEXIÓN A MALLA
DE BANCO DE
CAPACITORES

ESCALA: N.T.S.

SAN JUAN, PUERTO RICO

SMT-7



AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

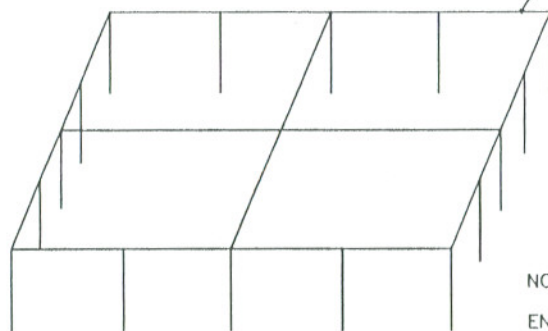
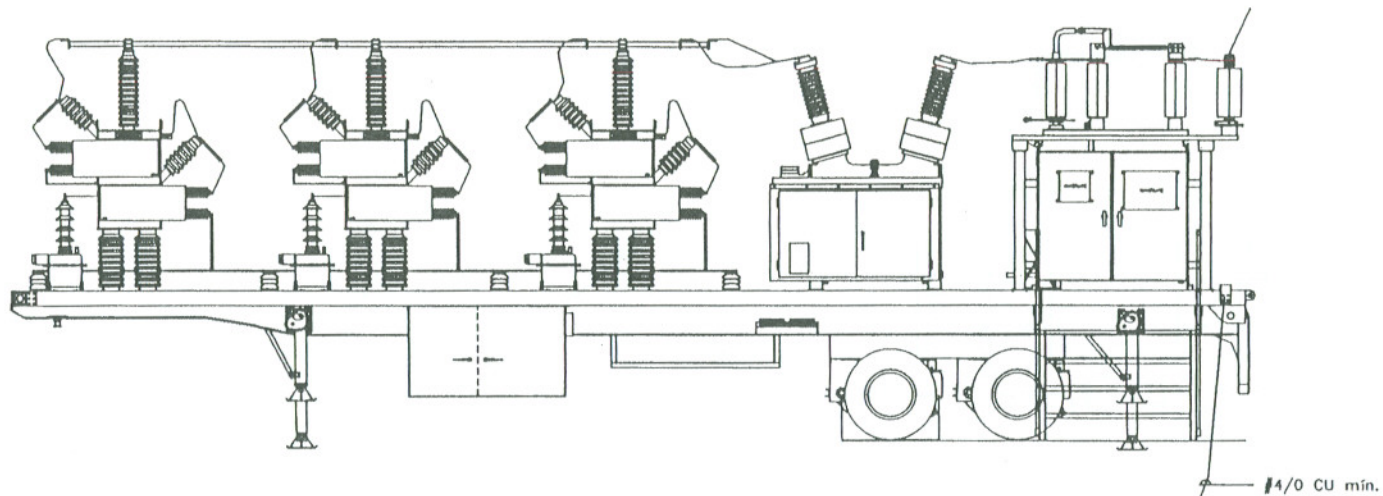
CONEXIÓN A MALLA
DE BANCO DE CAPACITORES
MOVIBLE

ESCALA:

N.T.S.

SAN JUAN, PUERTO RICO

SMF-7A



MALLA CONECTADA A TIERRA

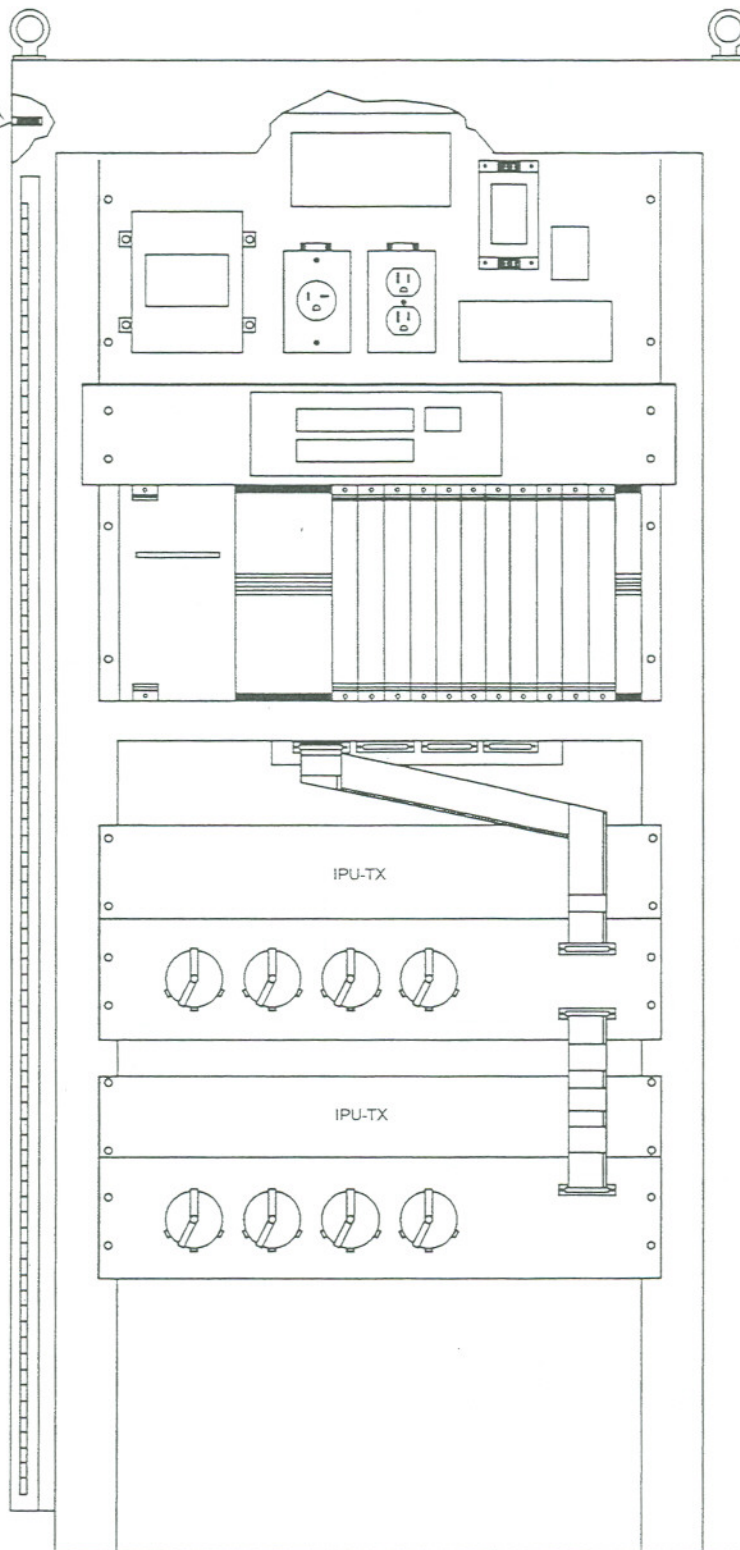
NOTA:

EN LUGARES DONDE NO EXISTA MALLA, SE CONECTA EL BANCO DE CAPACITORES MOVIBLE MEDIANTE CONFIGURACIÓN DE VARILLAS Y NEUTRAL COMÚN (VER SECCION V-I).

PERNO PARA CONEXIÓN
A MALLA

#2 CU

HACIA MALLA



AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

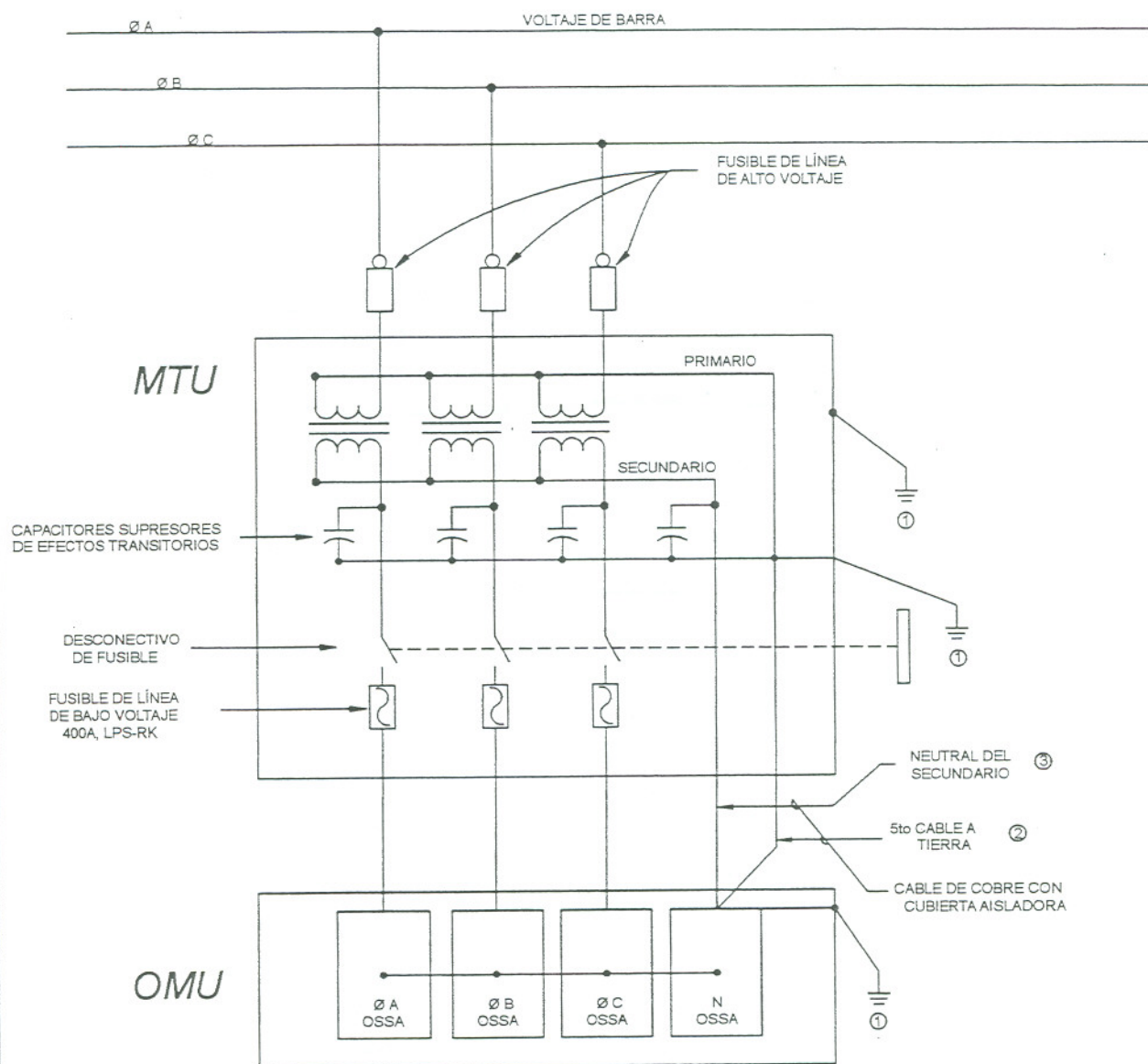
CONEXIÓN A MALLA DE
EQUIPO DE MEDICIÓN REMOTA
(CRU)

ESCALA:

N.T.S.

SAN JUAN, PUERTO RICO

SMT-8A



- ① = HACIA MALLA CONECTADA A TIERRA. EL ARMAZÓN DEL MTU SE TIENE QUE MANTENER CONECTADO A LA MALLA EN TODO MOMENTO.
- ② = CONEXIÓN A TIERRA DEL PRIMARIO DEL MTU. EL 5to CABLE DE TIERRA SE CONECTA AL ARMAZÓN DEL MTU Y A LA MALLA EN DOS PUNTOS, UNO EN EL MTU Y EL OTRO AL OMU.
- ③ = NEUTRAL DEL SECUNDARIO DEL MTU. ÉSTE SE CONECTA A LA BARRA DEL NEUTRAL DEL OMU Y EN LA CONEXIÓN A LA MALLA DEL OMU.



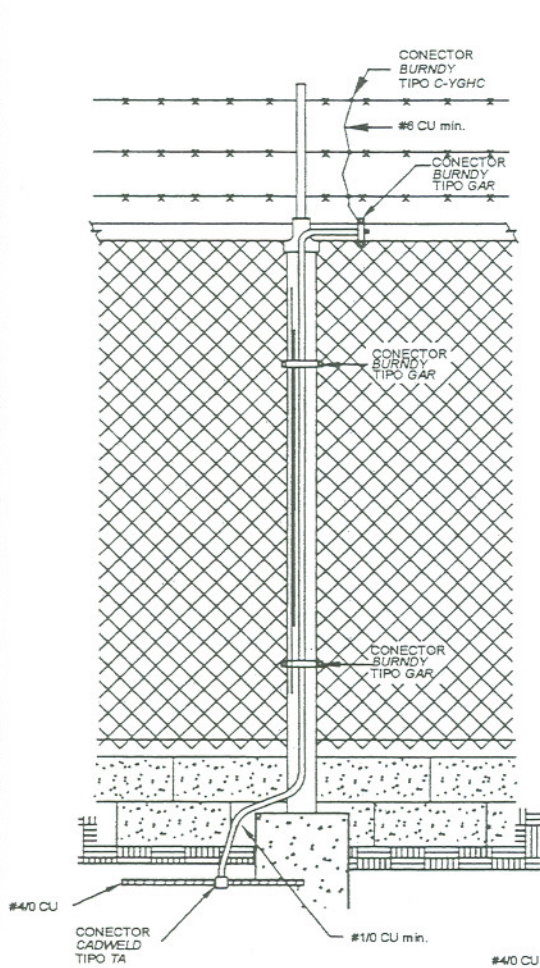
AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

CONEXIÓN A MALLA DE
EQUIPO DE MEDICIÓN REMOTA
(OMU/MTU)

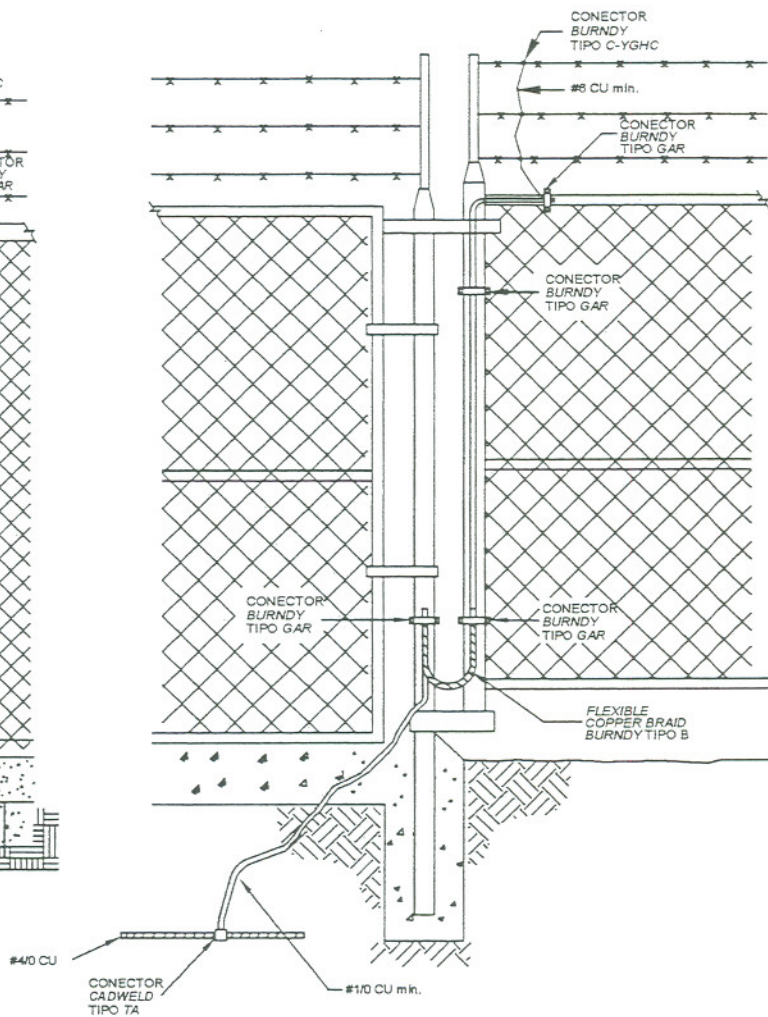
ESCALA: N.T.S.

SAN JUAN, PUERTO RICO

SMT-8



DETALLE DE VERJA
PARA CONEXIÓN A TIERRA
NO A ESCALA



DETALLE DE PORTÓN
PARA CONEXIÓN A TIERRA
NO A ESCALA



AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

CONEXIÓN A TIERRA
DE VERJAS
Y PORTONES

ESCALA: N.T.S.

SAN JUAN, PUERTO RICO

SMT-9

MANUAL PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MALLAS CONECTADAS A TIERRA PARA SUBESTACIONES Y EQUIPOS

DEPARTAMENTO DE ESTADO

Núm. 6996

Fecha 05 JUL 2005

Aprobado Fernando S. Bonilla

Secretario de Estado

Por: María D. Ray Páez

Secretaria Auxiliar de Servicios



AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA
Directorado Transmisión y Distribución
División de Distribución Eléctrica
Normas y Procedimientos

Diciembre 2004