



ESTADO LIBRE ASOCIADO DE PUERTO RICO
Autoridad de Energía Eléctrica
Junta de Gobierno

CERTIFICACIÓN

Supervisora Certificaciones de Reglamentos
Departamento de Estado

Yo, María E. Hernández Torrales, Secretaria de la Junta de Gobierno de la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico, por la presente CERTIFICO que los documentos que se acompañan del Manual para el Diseño y Construcción de Mallas Conectadas a Tierra para Subestaciones y Equipo, Resolución Núm. 3022 , Exhibit 1796, son copia fiel y exacta de los documentos originales aprobados por la Junta de Gobierno de la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico el 18 de junio de 2002.

En testimonio de lo cual, firmo la presente certificación y hago estampar en ella el sello oficial de la Autoridad de Energía Eléctrica, el octavo día de julio de dos mil dos.

Sello


María E. Hernández Torrales
Secretaria Junta de Gobierno



ESTADO LIBRE ASOCIADO DE PUERTO RICO
Autoridad de Energía Eléctrica
Junta de Gobierno

RESOLUCIÓN NÚM. 3022

POR CUANTO: El Director Ejecutivo recomienda a la Junta de Gobierno que considere la aprobación del Manual para el Diseño y Construcción de Mallas Conectadas a Tierra para Subestaciones y Equipos, Versión Junio 2002, para cumplir con lo establecido en la Ley de Procedimiento Administrativo Uniforme para el Estado Libre Asociado de Puerto Rico, Núm. 170 del 12 de agosto de 1988, según enmendada.

POR CUANTO: La utilización de este Manual propicia un ambiente seguro para proteger al personal y público en general en las cercanías a facilidades conectadas a tierra contra posibles descargas eléctricas causadas por condiciones de fallas. Además, tiene el propósito de establecer los criterios para el diseño y construcción de mallas conectadas a tierra para subestaciones y patios de interruptores.

POR CUANTO: El Director Ejecutivo solicitó a esta Junta de Gobierno la aprobación del Manual para el Diseño y Construcción de Mallas Conectadas a Tierra para Subestaciones y Equipos, Versión Junio 2002, para iniciar las gestiones de aviso al público para cumplir con los requisitos que establece la Ley 170, según enmendada, y presentarlo en el Departamento de Estado.

POR CUANTO: La Junta de Gobierno de la Autoridad de Energía Eléctrica
RESUELVE:

PRIMERO: Que se adopte el Manual propuesto.

SEGUNDO: Autorizar al Director Ejecutivo a iniciar las gestiones para notificar al público sobre la aplicación y uso del Manual de acuerdo con las disposiciones de ley.

TERCERO: Autorizar al Director Ejecutivo a presentar el Manual en el Departamento de Estado.

APROBADA en San Juan, Puerto Rico, a los dieciocho días de junio de dos mil dos.

Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico

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

VERSIÓN JUNIO 2000

TABLA DE CONTENIDO

Artículo I: Propósito

Artículo II: Vigencia

Artículo III: Aprobación

Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico

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

VERSIÓN JUNIO 2000

Artículo I: Propósito

El Manual para el Diseño y Construcción de Mallas Conectadas a Tierra para Subestaciones y Equipos (Versión Junio 2000) tienen el propósito de establecer los criterios para el diseño y construcción de las mismas. Este Manual provee un ambiente seguro para proteger al personal y público en general en las cercanías a facilidades conectadas a tierra contra posibles descargas eléctricas causadas por condiciones de fallas.

Artículo II: Vigencia

La adopción de este Manual para el Diseño y Construcción de Mallas Conectadas a Tierra para Subestaciones y Equipos (Versión Junio 2000) entrará en vigor treinta(30) días después de radicado ante el Departamento de Estado de Puerto Rico, a tenor con las disposiciones de la Ley Núm. 170 del 12 de agosto de 1988, según enmendada.

Artículo III: Aprobación

La adopción del Manual para el Diseño y Construcción de Mallas Conectadas a Tierra para Subestaciones y Equipos ha sido aprobada por la Junta de Gobierno de la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico, mediante su Resolución Núm. 3022 de junio de 2002.

En San Juan, Puerto Rico, a 29 de junio de 2002.


Héctor R. Rosario
Director Ejecutivo
Autoridad de Energía Eléctrica

06-29-02

Fecha

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



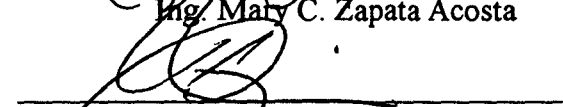
**MANUAL PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MALLAS CONECTADAS
A TIERRA PARA SUBESTACIONES Y EQUIPOS**

Preparado por: **COMITÉ DE MALLAS CONECTADAS A TIERRA**

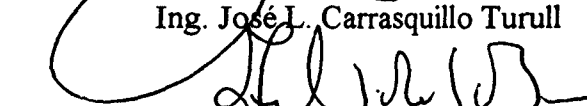
Verificado por:


Ing. Mary C. Zapata Acosta

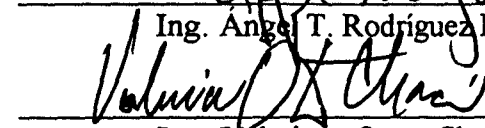
Sometido por:

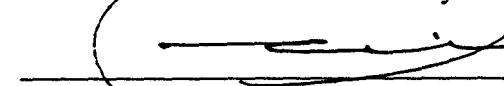

Ing. José L. Carrasquillo Turull

Recomendado por:


Ing. Ángel T. Rodríguez Barroso

Aprobado por:


Ing. Valeriano Otero Chacón
Director Transmisión y Distribución


Ing. Edwin Rivera Serrano
Director Ingeniería


Ing. Jorge Leavitt Rey
Director Sistema Eléctrico

JUNIO 2002

Revisión: 01

AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE PUERTO RICO
DIRECTORADO TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN

Núm. **6533**

A la fecha de: **11 de octubre de 2002**

Aprobado: **Ferdinand Mercado**
 Secretario de Estado



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

Por: **Giselle Romero García**

Asistente Auxiliar de Servicios

ÍNDICE

	Página
I. GENERAL	
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 (Throwover switch) y facilidades eléctricas con verjas 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	12
VI. CONEXIÓN DE EQUIPOS NO ENERGIZADOS A LA MALLA	12
VII. ENMIENDAS, REVISIONES E INTERVENCIONES	12

		Página
VIII.	REFERENCIAS	13
IX.	ANEJOS	13
X.	COORDINADO	13
ANEJO 1	Cálculo de Resistencia Base para varillas a tierra con separación entre varillas mayor que su largo	14
ANEJO 1-A	Cálculo de Resistencia Base para varillas a tierra con separación entre varillas menor que su largo	15
ANEJO 2	Lista de materiales para sistemas de mallas conectadas a tierra en subestaciones	16
ANEJO 3	PATRONES DE CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE MALLAS CONECTADAS A TIERRA (SMT)	17
	SMT-1 Detalle de gravilla	18
	SMT-1A Diseño de malla en una subestación típica	19
	SMT-1B Detalle de seccionadora aislada	20
	SMT-2 Conexión a malla de transformadores y convertidores	21
	SMT-3 Conexión a malla de disyuntores	22
	SMT-4 Conexión a malla de planchuelas y disyuntores de aire	23
	SMT-5 Conexión a malla de equipo en casetas de control	24
	SMT-5A Conexión a malla de bandeja de conductores	25
	SMT-5B Detalle de halo	26
	SMT-6 Conexión a malla de subestación movable	27
	SMT-7 Conexión a malla de banco de capacitores	28
	SMT-7A Conexión a malla de banco de capacitores movable	29
	SMT-8 Conexión a malla de equipo de medición remota (OMU/MTU)	30
	SMT-8A Conexión a malla de equipo de medición remota (CRU) ...	31
	SMT-9 Conexión a tierra de verjas y portones	32



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

I. GENERAL

A. Introducción

Una de las preocupaciones principales de las compañías de electricidad es el diseño y construcción de un sistema de conexión a tierra efectivo y seguro.

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 medio para disipar la corriente a tierra, para que no exceda los límites de operación de los equipos.
2. Proveer un ambiente seguro para proteger al personal dentro de los predios de las subestaciones y al público en general en áreas cercanas a facilidades conectadas a tierra contra posibles descargas eléctricas causadas por condiciones de fallas. 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.

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 (Constructor)** - Persona natural o jurídica que ejecuta obras de construcción.
- G. GPR (Ground Potential Rise)** - 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, cuando la distancia entre sus pies sea de aproximadamente 0.5 metros.
- 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. 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.
- C. 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.
- D. 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

- E. 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.

F. 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 (Ver Tabla 2).
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 (Ver 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.

Núm.	Descripción del Material de Superficie	Resistividad del Material (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

Nota: 1. Estos parámetros fueron obtenidos del estándar IEEE 80-2000.
2. El tipo de gravilla blanca no cumple con estas especificaciones.

G. El valor máximo de diseño para el GPR es 5,000 voltios.

H. Todas las estructuras metálicas en la subestación, incluidas las no energizadas, se tienen que conectar a la malla.

- I. 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.
- J. 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.
- K. 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.
- L. 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.
- M. Las verjas de las subestaciones se instalan sin cubierta para mantener un equipotencial con respecto a la malla.
- N. Los bajantes a tierra de postes dentro de una subestación tienen que conectarse a la malla a tierra.
- O. El voltaje de toque en la verja tiene que ser menor que el voltaje de toque máximo permitido.
- P. Se requiere que la impedancia o resistencia base del diseño de la malla cumpla con los valores 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 (Throwover) 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 (Ver SMT-1A).
- D. Para construcción de mallas nuevas se tienen que utilizar conexiones por soldadura exotérmica tipo *Cadweld* o similar.
- 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 del diseño de la malla.

V. CONEXIÓN DE EQUIPOS ENERGIZADOS A LA MALLA

A. Transformadores y Convertidores (Ver 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 calibre Núm. 2 AWG.

B. Disyuntores (Ver 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 (Ver 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 switch) y facilidades eléctricas con verjas fuera de subestaciones, centrales generatrices o centros de transmisión (Ver 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 (Ver 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. (Ver 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 conductor 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" (Ver 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 (Ver 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 móvil 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 móvil 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-on meter) o el Método 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 Anejos 1 y 1-A.
- d. La verja de protección tiene que conectarse a la configuración de varillas diseñada.

K. Bancos de Capacitores (Ver 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 (Ver 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 (Ver 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*

IX. ANEJOS

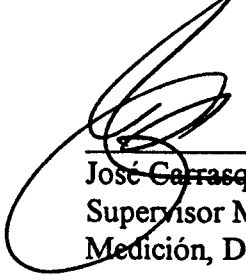
Anejo 1 - Tabla 4. Cálculo de Resistencia Base para varillas a tierra con separación entre varillas **mayor** que el largo de las varillas

Anejo 1-A- Tabla 5. Cálculo de Resistencia Base para varillas a tierra con separación entre varillas **menor** que el largo de las varillas

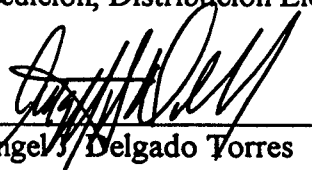
Anejo 2 - Lista de Materiales para Sistemas de Mallas Conectadas a Tierra en Subestaciones

Anejo 3 - Patrones de Construcción

X. COORDINADO



José Carrasquillo Turull
Supervisor Materiales y Sistemas de
Medición, Distribución Eléctrica



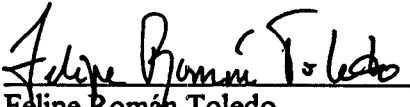
Ángel Delgado Torres
Ingeniero Electricista Suprv. II
Análisis Transmisión y Distribución



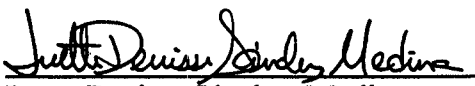
Jorge L. Gomez Escareo
Ing. Supervisor III- Pruebas de
Aceptación, Conservación Eléctrica y
Protección



Luis Silva Santos
Suprv. Laboratorio de Investigaciones
Especiales, Distribución Eléctrica



Felipe Román Toledo
Ingeniero Electricista IV
Diseño y Dibujo, División Ingeniería



Ivette Denisse Sánchez Medina
Ingeniero Supervisor II
Distribución Eléctrica

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 5/8"x 8', S>8', D=0.625"	Varilla 3/4"x10', S>10', D=0.75"
1	●	$R_B = 0.3737\rho$	$R_B = 0.3011\rho$
2	● ●	$R_B = 0.1868\rho$	$R_B = 0.1506\rho$
3	● ● ●	$R_B = 0.1245\rho$	$R_B = 0.1004\rho$
4	● ● ● ●	$R_B = 0.0934\rho$	$R_B = 0.0753\rho$
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 4. Cálculo de Resistencia Base para varillas a tierra con separación entre varillas mayor que su largo

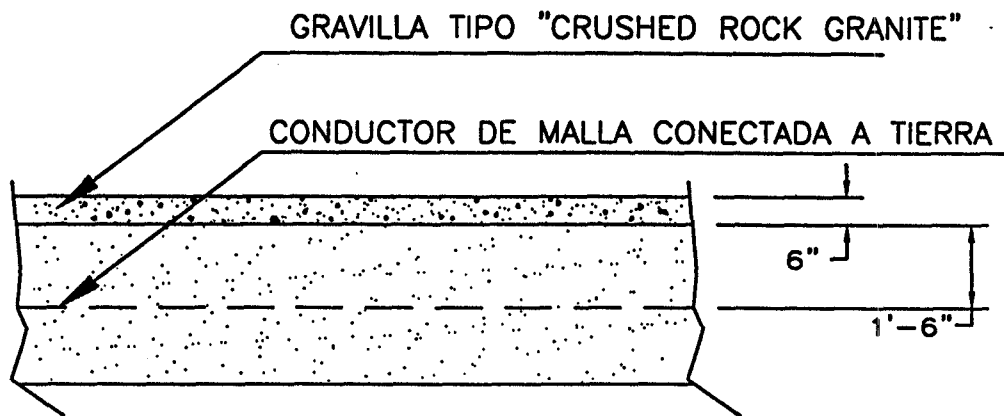
Número de Varillas	Configuración $A = \sqrt[N]{rS_1S_2...S_{N-1}}$	Resistencia Base (ohmios): $R_B = \frac{3.28\rho \ln\left(\frac{2L}{A}\right)}{2\pi NL}$	
		Varilla 5/8"x 8', S<8', D=0.625"	Varilla 3/4"x10', S<10', D=0.75"
1	●	$R_B = 0.3737\rho$	$R_B = 0.3011\rho$
2	● ●	$R_B = 0.06528\rho \ln\left(\frac{70.11}{\sqrt{S}}\right)$	$R_B = 0.0522\rho \ln\left(\frac{80}{\sqrt{S}}\right)$
3	● ● ●	$R_B = 0.06528\rho \ln\left(\frac{42.85}{\sqrt[3]{S_1S_2}}\right)$	$R_B = 0.0522\rho \ln\left(\frac{50.39}{\sqrt[3]{S_1S_2}}\right)$
4	● ● ● ●	$R_B = 0.06528\rho \ln\left(\frac{33.49}{\sqrt[4]{S_1S_2S_3}}\right)$	$R_B = 0.0522\rho \ln\left(\frac{40}{\sqrt[4]{S_1S_2S_3}}\right)$
ρ = resistividad aparente del terreno en ohmios- metros A = distancia media geométrica (DMG) S = separación entre varillas			
r = radio de la varilla N = número de varillas D = diámetro de la varilla			
* Nota: Los resultados de los valores de resistencia base al utilizar las fórmulas son los menores de acuerdo con los largos y diámetros seleccionados.			

Tabla 5. Cálculo de Resistencia Base para varillas a tierra con separación entre varillas menor que su largo

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 YGHA, YGA o similar	038-00786
2	<i>HYSEALUG</i> Núm. 2 <i>Burndy</i> tipo YGHA, YGA 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 GAR 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

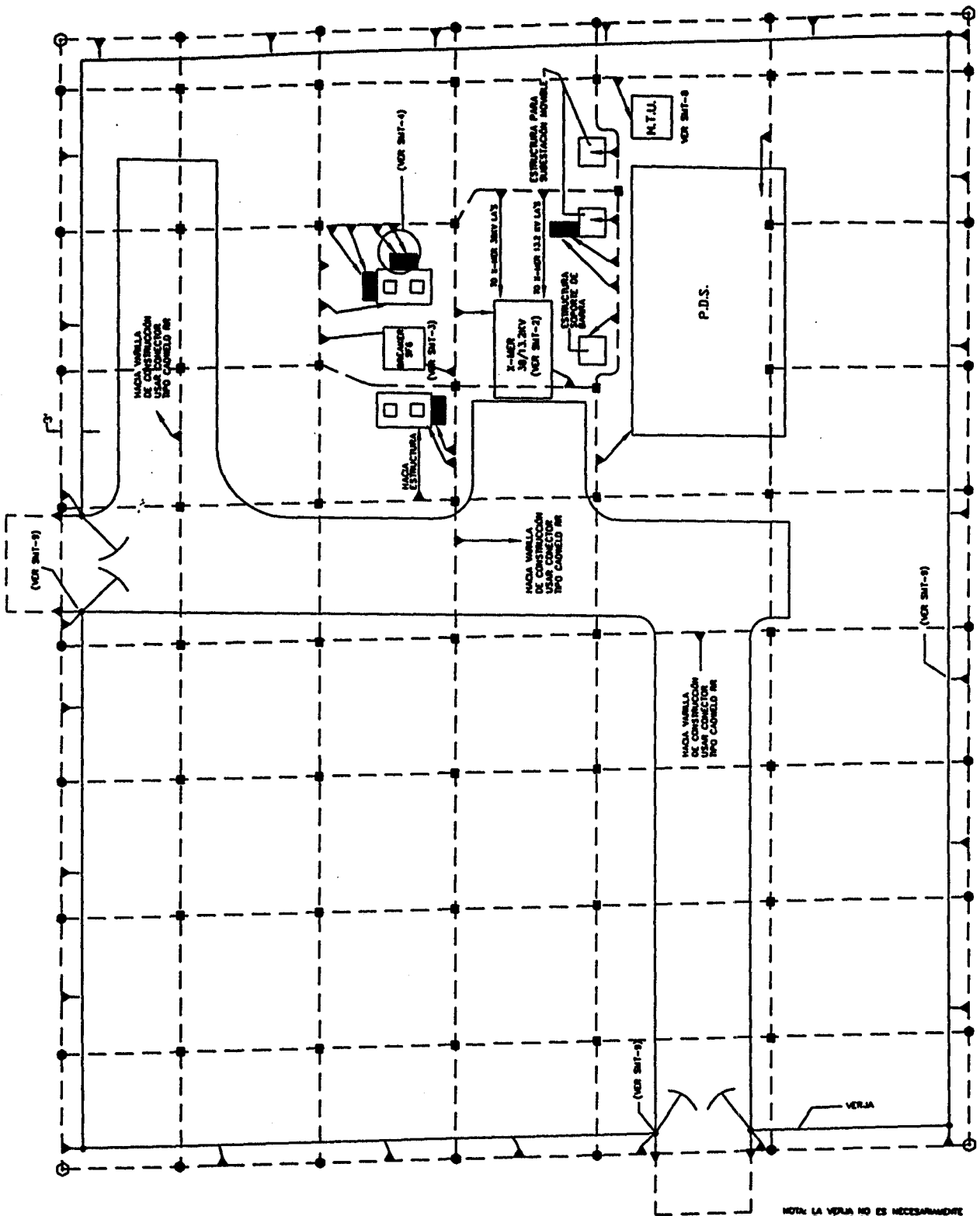
DETALLE DE
GRAVILLA

ESCALA:

N.T.S.

SAN JUAN, PUERTO RICO

SMT-1



LEYENDA:

- CONECTOR CABLEADO TIPO "T"
- CONECTOR CABLEADO TIPO "X"
- CONECTOR CABLEADO TIPO "Y"
- CONECTOR CABLEADO TIPO "Z"
- ▲ CONECTOR CABLEADO TIPO "A"



AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

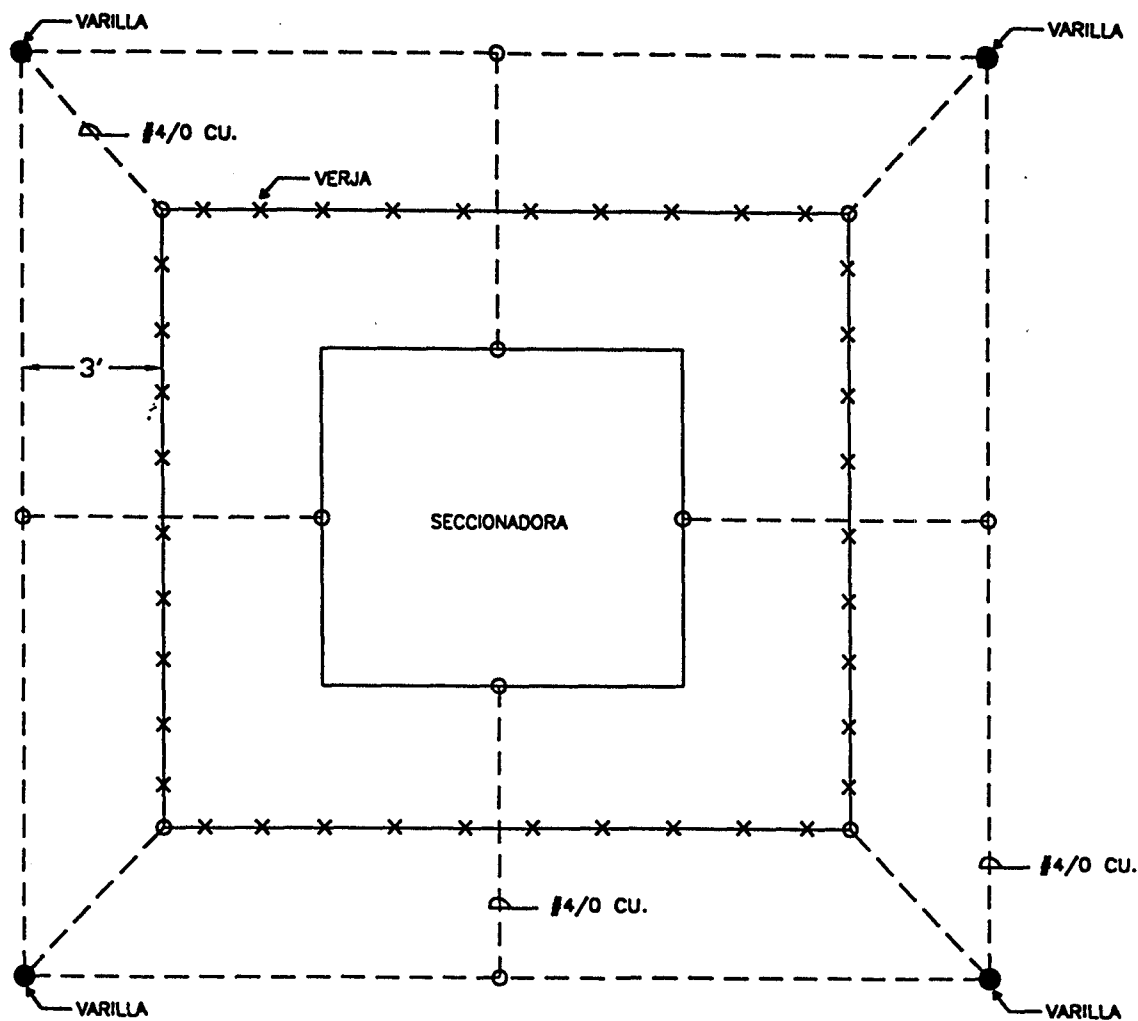
DISEÑO DE MALLA
EN UNA SUBESTACIÓN
TÍPICA

ESCALA:

N.T.S.

SAN JUAN, PUERTO RICO

SMT-1A



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



AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

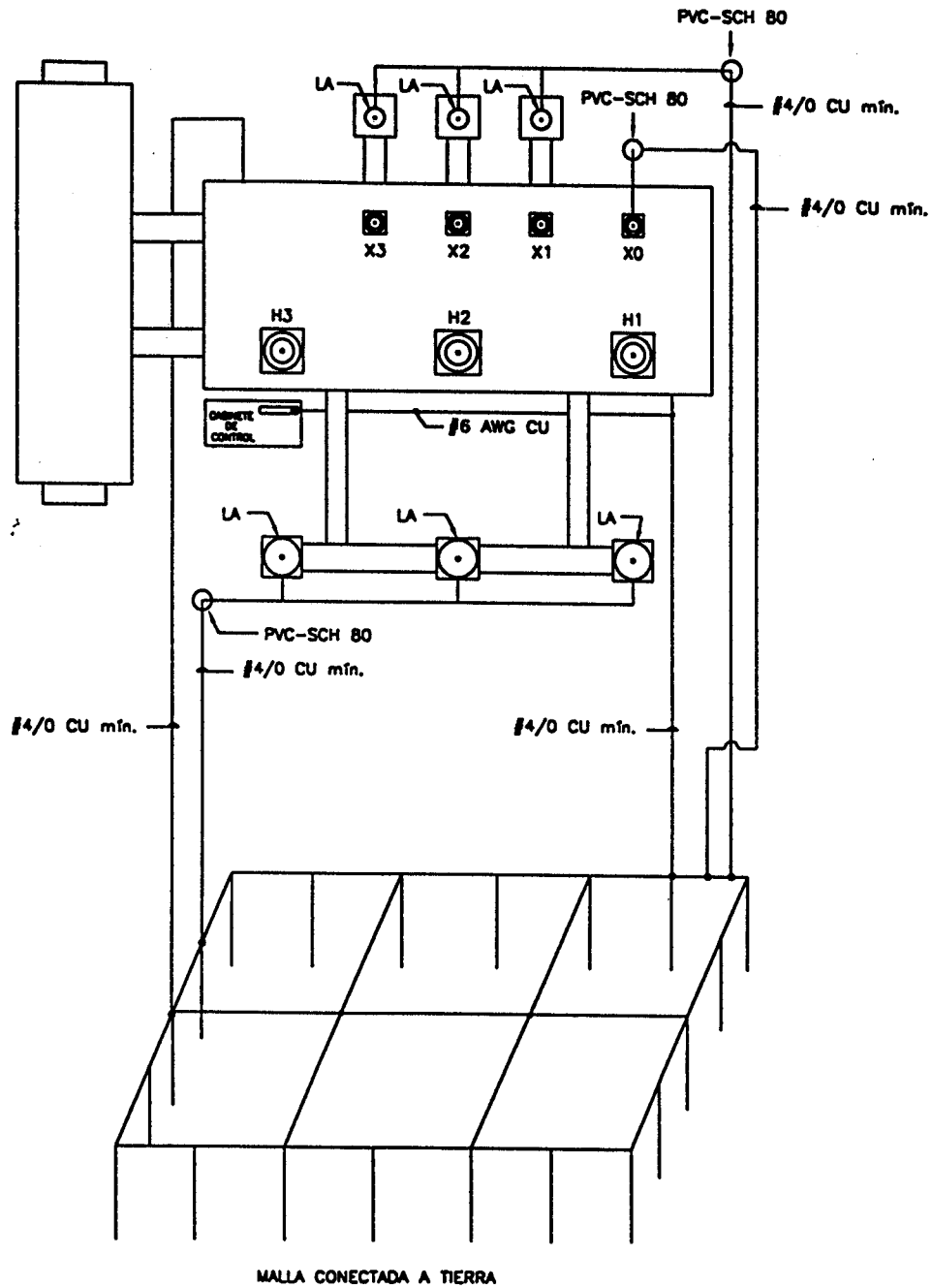
DETALLE DE
SECCIONADORA AISLADA

ESCALA:

N.T.S.

SAN JUAN, PUERTO RICO

SMT-18



AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

CONEXIÓN A MALLA
DE TRANSFORMADORES
Y CONVERTIDORES

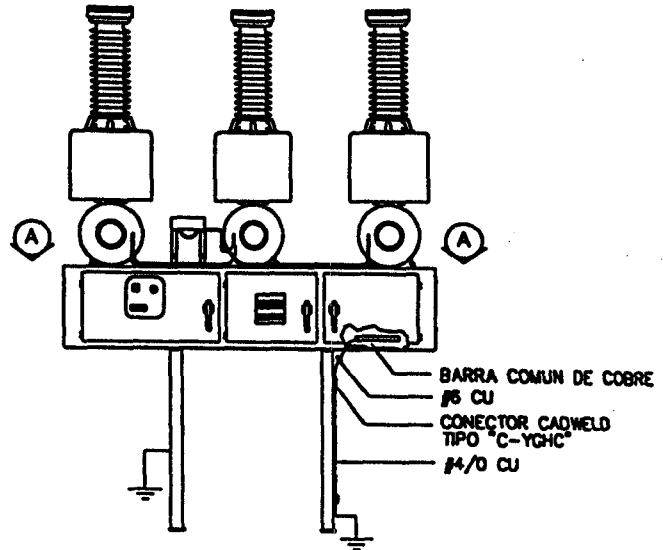
ESCALA:

N.T.S.

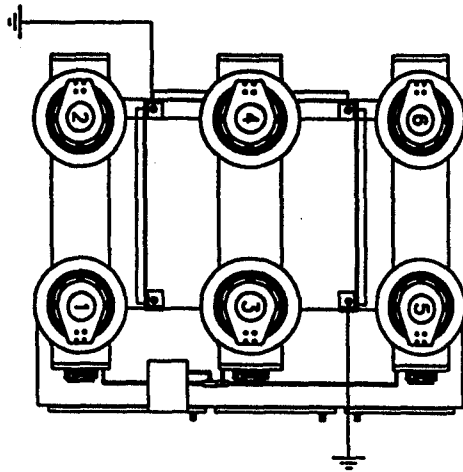
SAN JUAN, PUERTO RICO

SMT-2

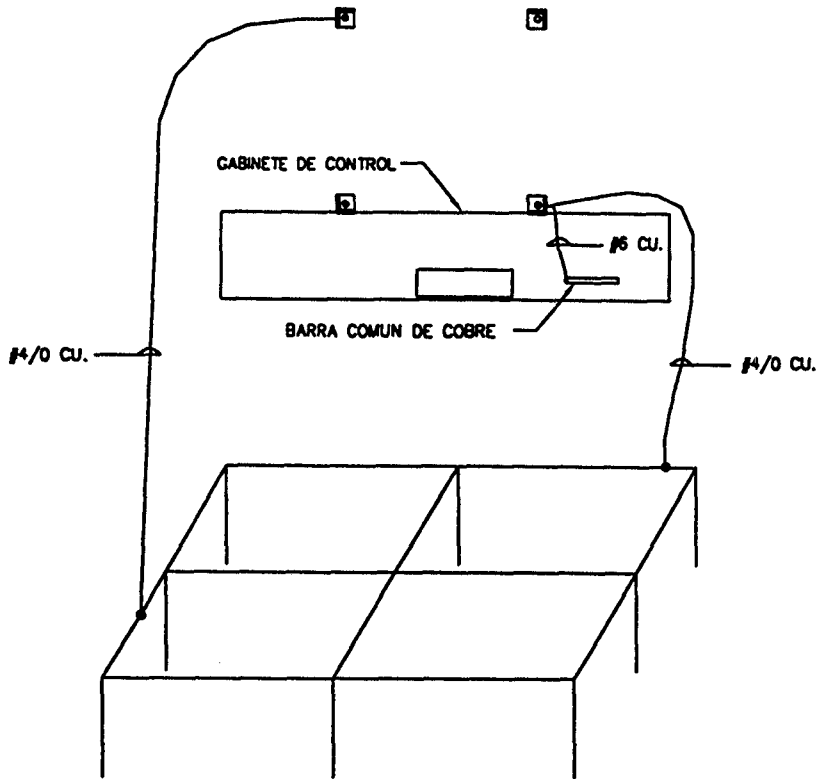
VISTA FRONTAL



VISTA DE TOPE



DETALLE A



MALLA CONECTADA A TIERRA



AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

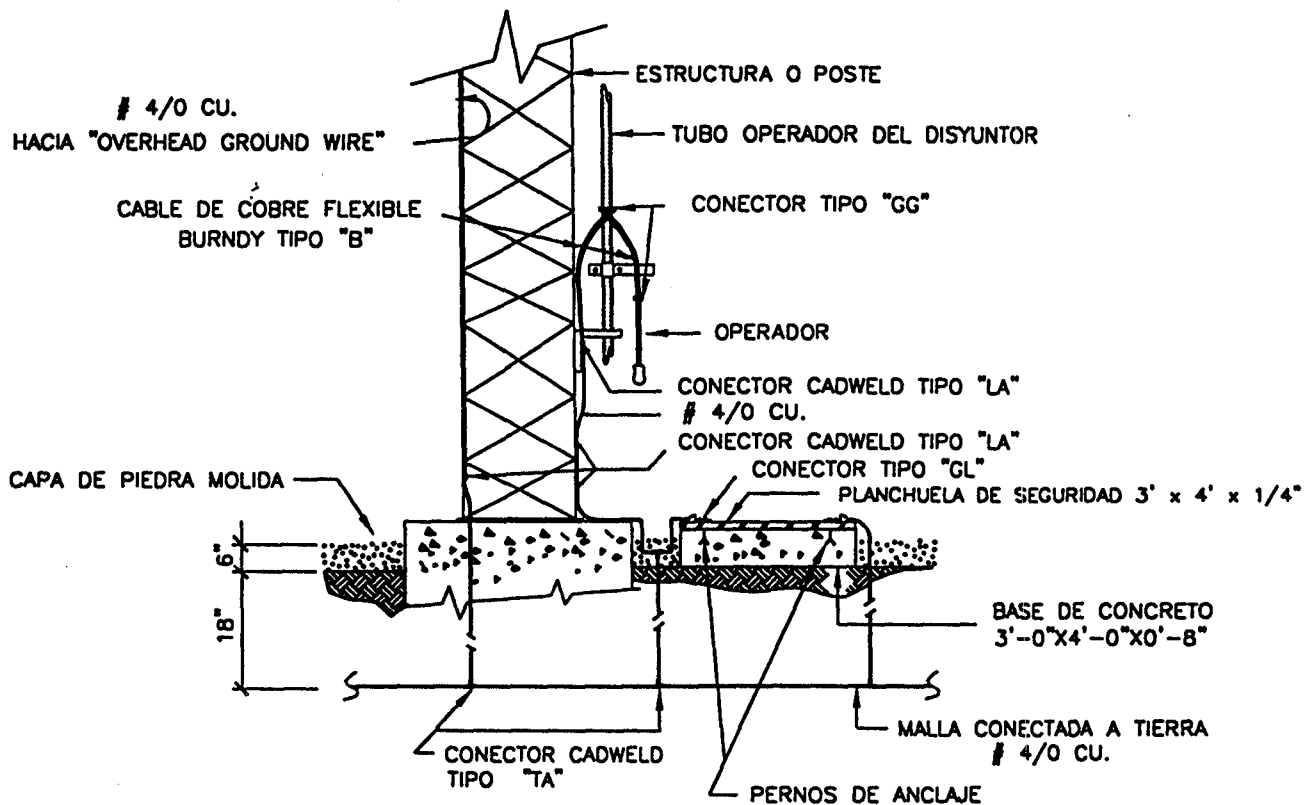
CONEXIÓN A MALLA
DE
DISYUNTORES

ESCALA:

N.T.S.

SAN JUAN, PUERTO RICO

SMT-3



AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

CONEXIÓN A MALLA DE
PLANCHUELAS Y
DISYUNTORES DE AIRE

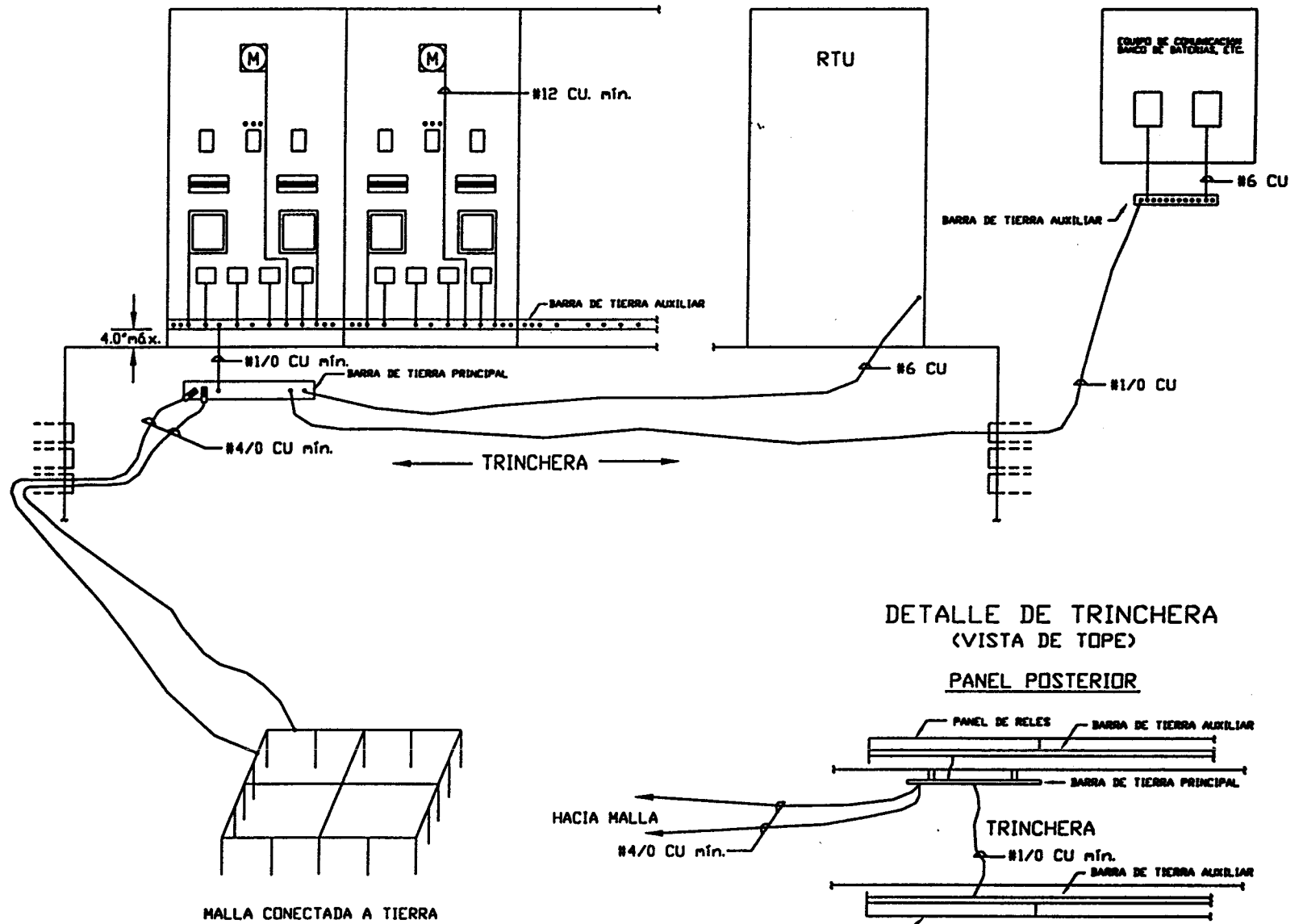
ESCALA:

N.T.S.

SAN JUAN, PUERTO RICO

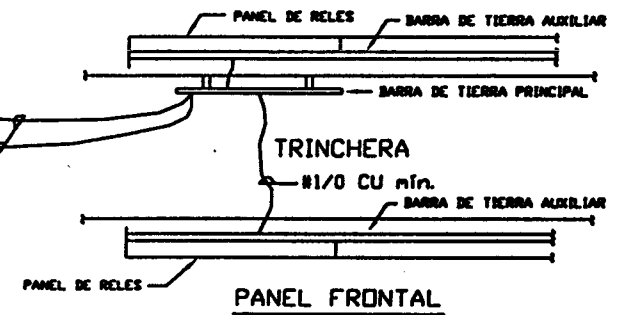
SMT-4

VISTA FRONTAL

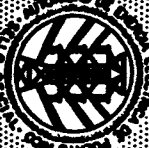


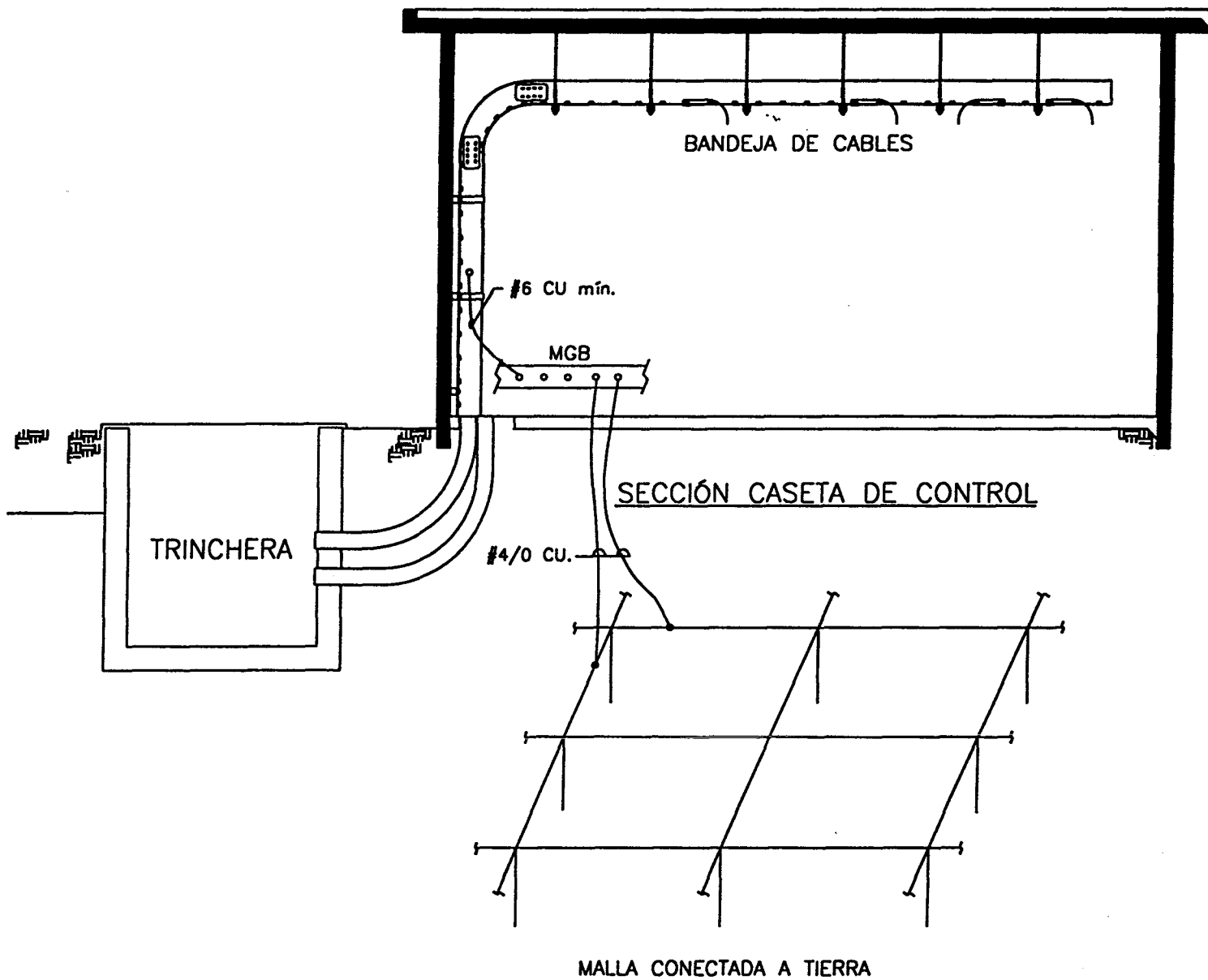
DETALLE DE TRINCHERA (VISTA DE TOPE)

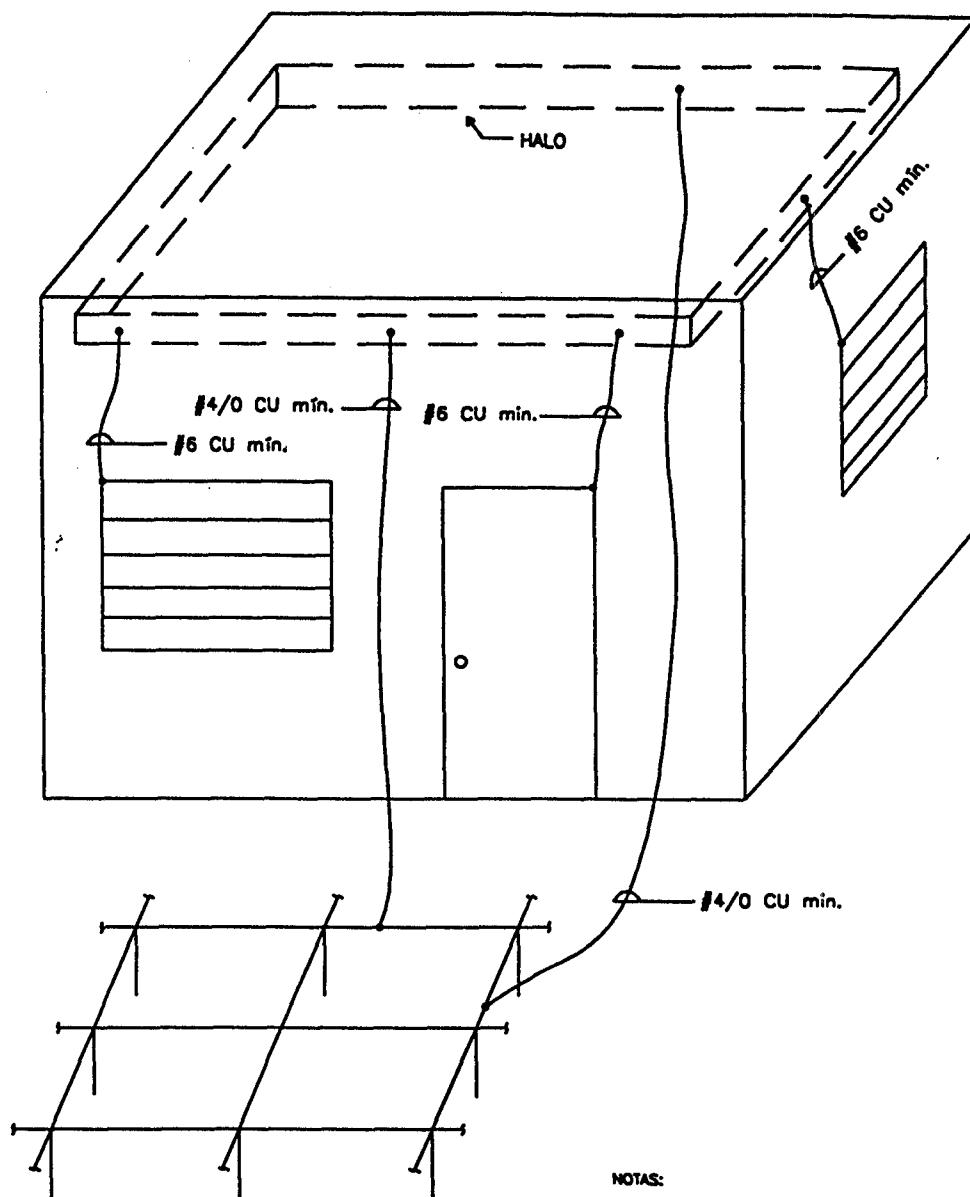
PANEL POSTERIOR



AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA
CONEXIÓN A MALLA DE
EQUIPO EN CASETAS DE CONTROL
ESCUELA MIS SAN JUAN, PUERTO RICO SMT-5

		
AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA		
CONEXIÓN A MALLA DE BANDEJA DE CABLES		
ESCALA:	N.T.S.	SAN JUAN, PUERTO RICO
		SMT-34





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

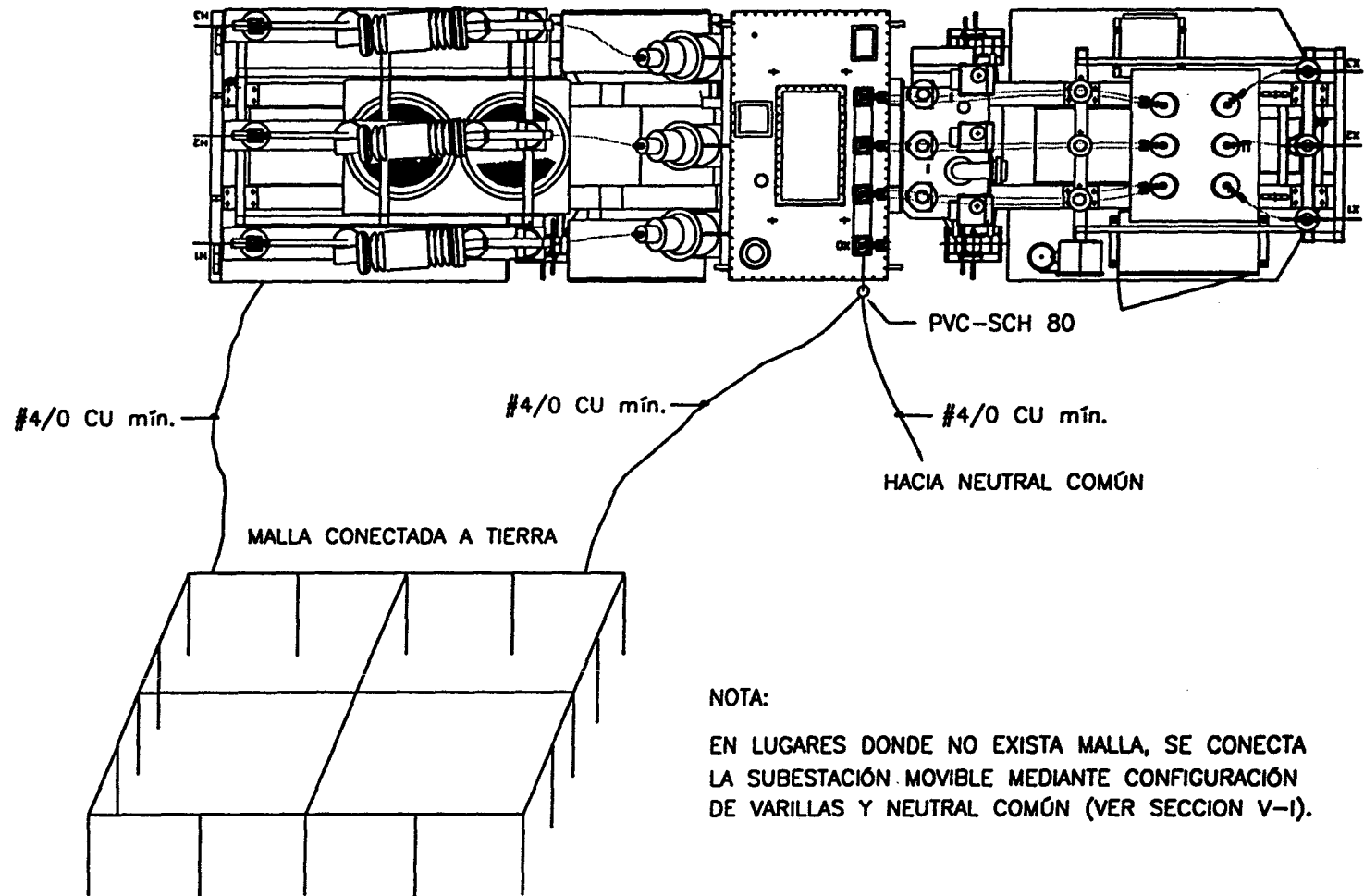
ESCALA:

N.T.S.

SAN JUAN, PUERTO RICO

SMT-58

VISTA DE TOPE

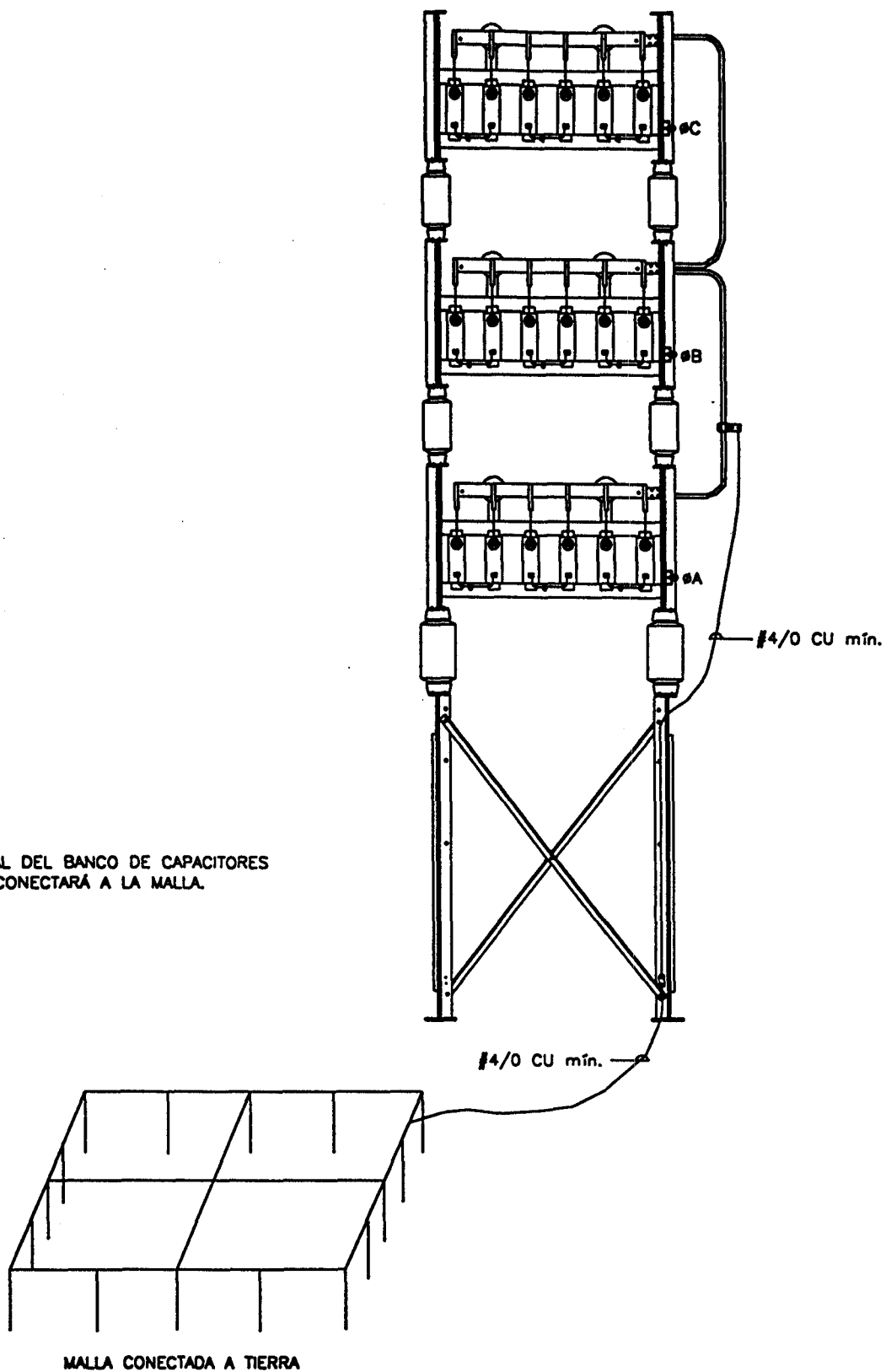


NOTA:

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			
ESCALA:	N.T.S.	SAN JUAN, PUERTO RICO	SIN-6
CONEXIÓN A MALLA DE SUBESTACIÓN MOVIBLE			

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:

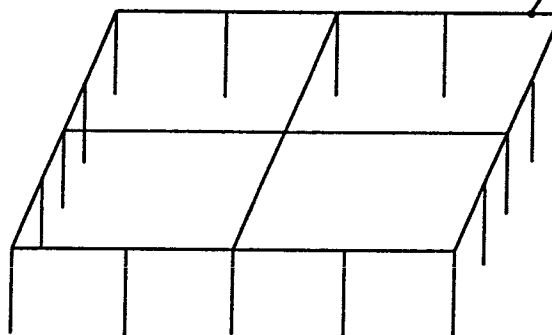
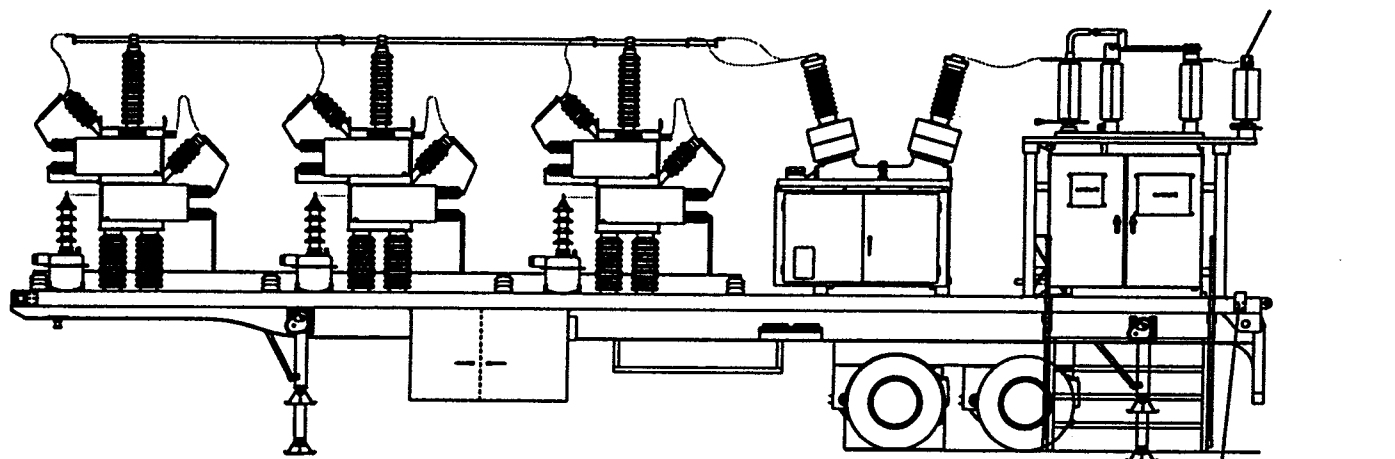
N.T.S.

SAN JUAN, PUERTO RICO

SMT-7



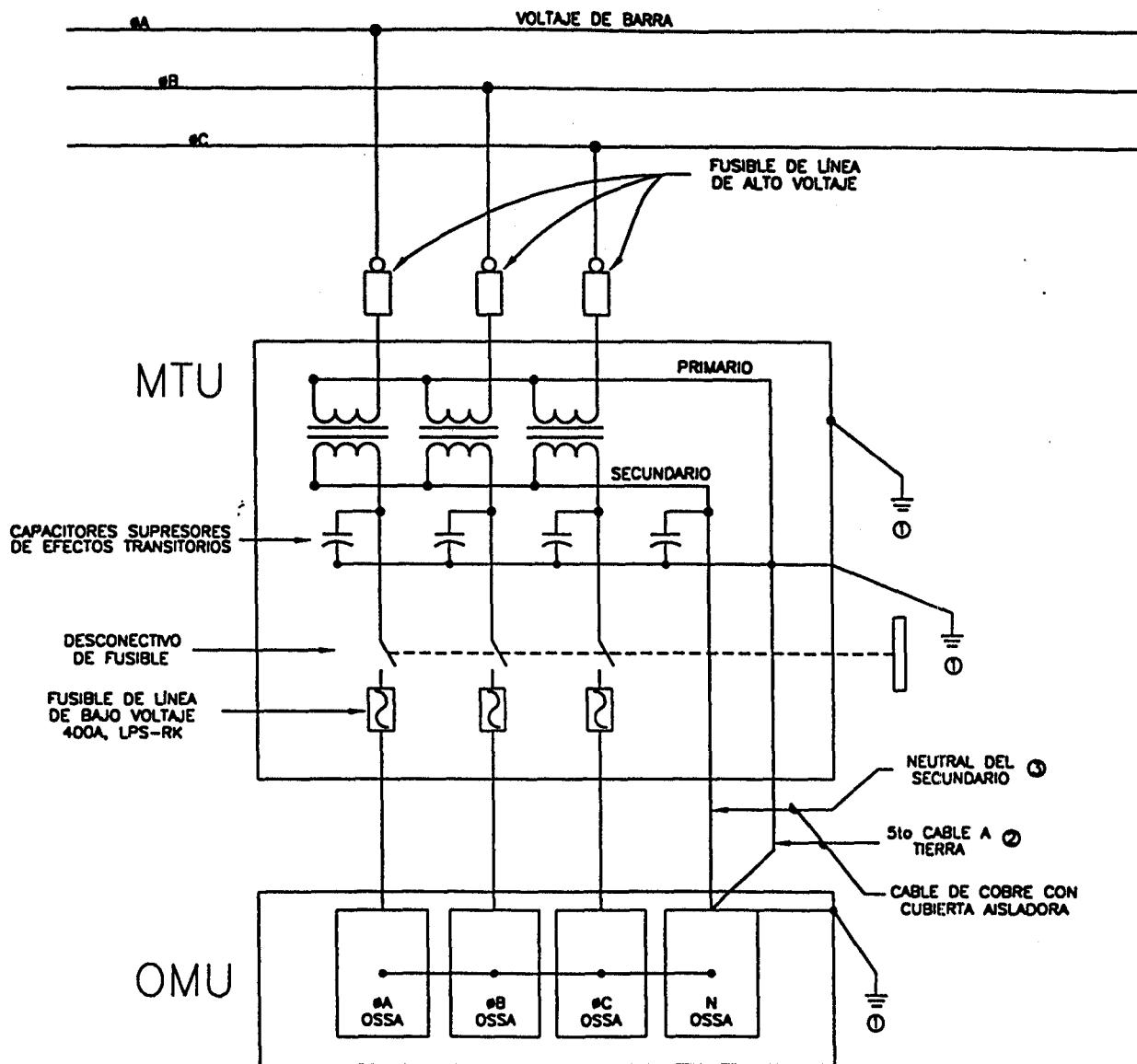
AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA			
CONEXIÓN A MALLA DE BANCO DE CAPACITORES MOVIBLE			
ESCALA:	M.T.S.	SAN JUAN, PUERTO RICO	SMT-7A



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-1).



- 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.

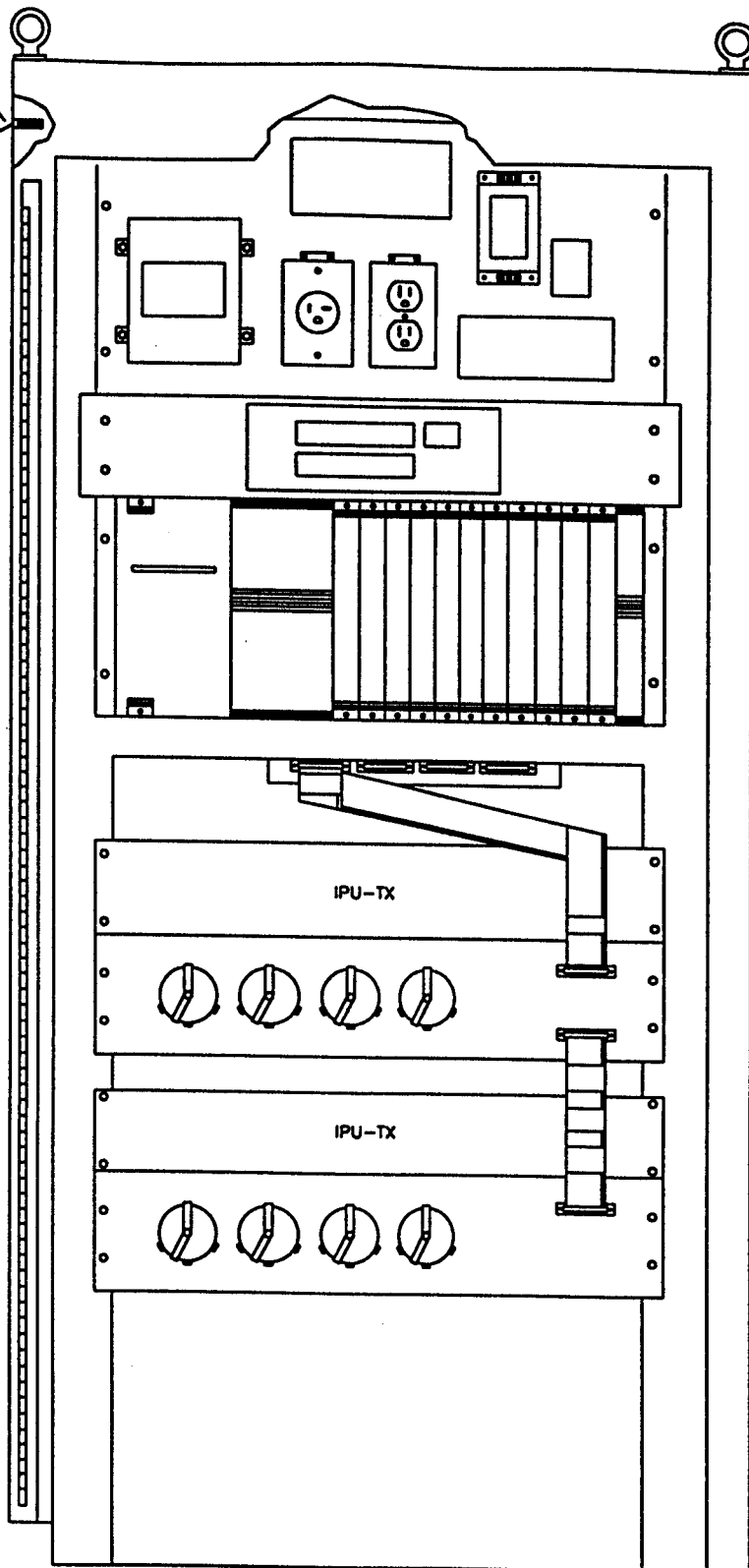
SAN JUAN, PUERTO RICO

SMT-8

PERNO PARA CONEXIÓN
A MALLA

#2 CU

HACIA MALLA



AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

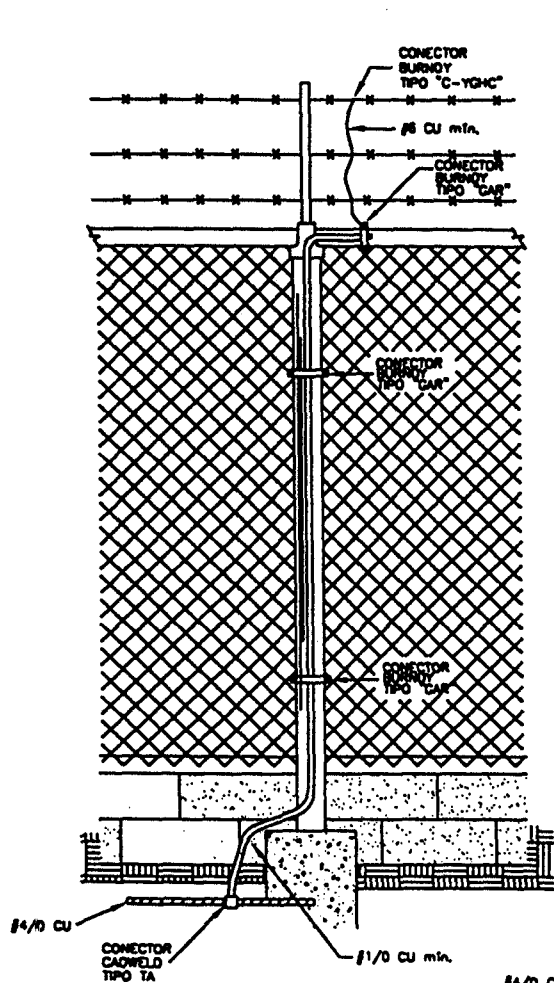
CONEXIÓN A MALLA DE
EQUIPO DE MEDICIÓN REMOTA
(CRU)

ESCALA:

N.T.S.

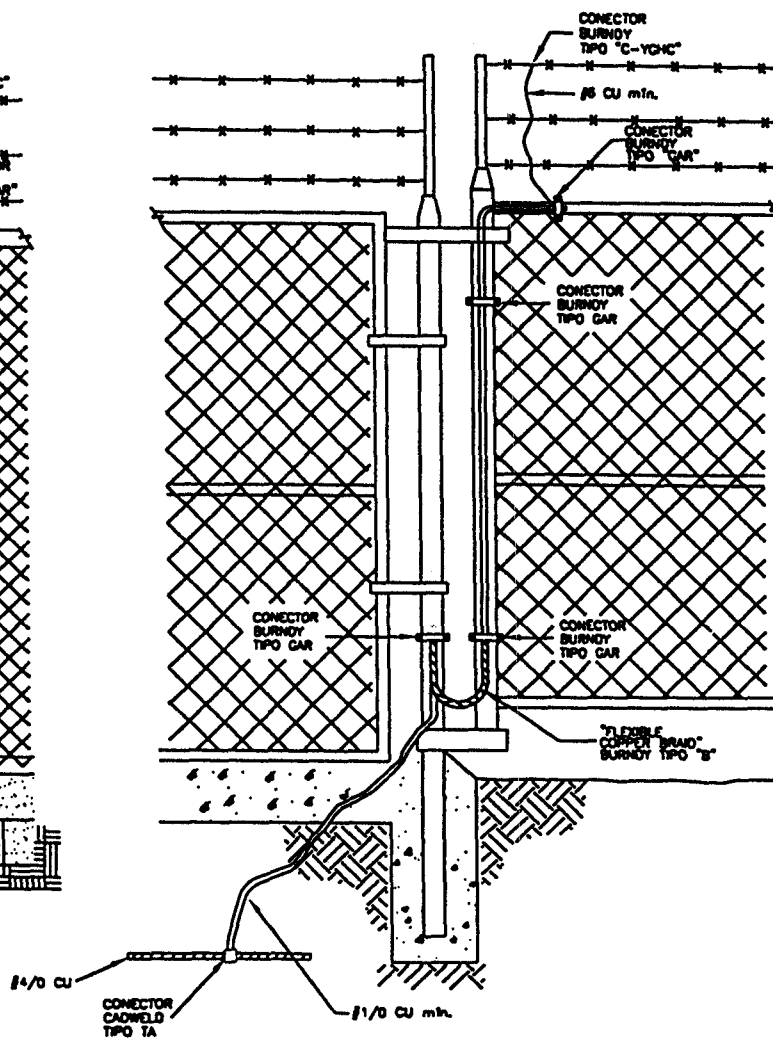
SAN JUAN, PUERTO RICO

SMT-8A



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