1.A.5. ANEXO V: ESTUDIO Y DISEÑO DE LA RED DE TIERRAS

Contenidos:

V.1. PUNTUALIZACIONES PREVIAS EN GENERAL

V.2. RED DE TIERRAS PARA INSTALACIÓN AT

V.3. RED DE TIERRAS PARA INSTALACIÓN BT

V.4. PUESTA A TIERRA DE LOS EDIFICIOS (NTE – IEP – 73).

V.1. PUNTUALIZACIONES PREVIAS EN GENERAL

Los objetivos básicos del estudio y diseño de la red de tierra son:

- Dimensionado de las redes de tierra:
  - Tomas de tierra. (MT y BT)
  - Línea de puesta a tierra o principal
  - Derivaciones y conductores de protección (C.P.)
  - Líneas descargadores autovalvulares
  - Pararrayos.
- Elección de los interruptores o relés diferenciales dentro del circuito de protección de puesta a tierra de las masas y dispositivo por intensidad de defecto (circuito FI)
- Elección adecuada del sistema para evitar o reducir ruidos en los equipos electrónicos.

Uno de los datos de referencia más importantes de todo el estudio será el no rebasar en la persona los valores de 50 mA de corriente y 65 V de tensión de contacto (VDE 0100) e instr. MIE BT039; se atenderán además las recomendaciones UNESA referentes a puesta a tierra en redes de distribución y la norma NTE- IEP-73 y NTE- IET-73 (Centros de Transformación).

Se distinguirá claramente la red de tierras para la instalación de BT y la red de tierras para AT (MT) en el planteamiento de partida.

V.2. RED DE TIERRAS PARA INSTALACIÓN AT (MT)

El alcance de la red de tierras de MT será para el CDC, CDA y CT^S:

- Se designará fundamentalmente siguiendo la " Guía técnica de cálculo, diseño y medida de instalaciones de puesta a tierra en redes de distribución de UNESA"

- Cumplirá con: MIE-RAT 13
  CEI 479-80 (UNE 20 572-1)
  Normas: IEEE Std 80-1976
  NTE.

2.1. DATOS PRELIMINARES

- Tensión de red: U = 25 kV
- Puesta a tierra del neutro transformador 45 MVA, 66/25 kV
  Rn = 1 Ω, Xn = 32 Ω (reactancia de Petersen)
- Resistividad media del terreno de Power- Autos: ρ_S = 40 Ωm

- Resistividad del hormigón en salas eléctricas: ρ'_S = 3000 Ωm
- Tiempo de desconexión máximo: $t_s \leq$ 0,5 s
  Relé tiempo independiente
  Relé tiempo dependiente, curva muy inversa
- Nivel de aislamiento de la instalación de BT en CT^S: U_{bt} = 8 kV
- Intensidad de defecto máxima permitida de acuerdo con las normas de las ESE: I_d = 500 A
- Características de las salas eléctricas: CD^S y CT^S
  Dimensiones; CD^S : 12 x 6,5 m; CT^S = 12 x 5 m
  Mallazo equipotencial bajo el pavimento a 8 cm de profundidad.

2.2. CÁLCULO

2.2.1. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA (R.P.A.T.) PARA LAS DIFERENTES SALAS ELÉCTRICAS

La resistencia máxima de la p.a.t. de las masas de MT será:

$$Rt = \frac{Ubt}{Id} = \frac{8000V}{500A} = 16\Omega \qquad \text{(V. 1)}$$

- Puesto que la resistividad del terreno es bastante baja se puede conseguir un sistema de puesta a tierra único (p.a.t. de protección de masas de MT y de servicios o de neutro de BT); Esta condición se cumpliría si la tensión de defecto, Ud < 1000 V.
- La intensidad de defecto en la red de MT (25 kV), despreciando la impedancia homopolar de los conductores, será:

$$I'_d = \frac{U}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{(Rn+Rt)^2 + X_{2n}}} = \frac{25000}{\sqrt{3}\cdot\sqrt{(1+2{,}04)^2 + 32^2}} = 449A \qquad \text{(V. 2)}$$

$I_d > I_{arranque\ relé}$

- La resistencia de p.a.t. se calculará mediante la expresión

$$R't = Kr\cdot\rho = 0{,}051x40 = 2{,}04\Omega \qquad \text{(V. 3)}$$

siendo Kr: Coef. de resistencia = 0,051 m^{-1} que se corresponde con un red de cables subterráneos y con picas incorporadas, cuyo código de configuración es 80 – 40 / 8 / 84:

- Profundidad = 0,8 m
- Nº de picos = 8
- Rectángulo 8 x 4 m.

2.2.2. LA TENSIÓN DE DEFECTO SERÁ:

$$U_d = R't\cdot I'd = 2{,}04 \text{ x } 449 = 915{,}96 \text{ V}$$

Siendo U'_d < 1000 V ⟶ Sistema de puesta a tierra único, para régimen de neutro TT.

y $U_{bt} \geq U'_d$.

2.2.3. CÁLCULO DE LAS TENSIONES DE PASO Y CONTACTO ADMISIBLES

- Tensión de seguridad

- La tensión máxima aplicada al cuerpo humano (tensión de contacto), según MIE - RAT 13 ap. 1.1. en función del tiempo sigue la ley siguiente:

[4] $$U_{ca} = \frac{K}{t^n} = \frac{72}{0,5^1} = 144\ V$$

siendo: K y n = constantes en función del tiempo
t= duración de la falta

Para tiempos de desconexión inferiores a 0,9 s

$t_s < 0,9 \longrightarrow K = 72$ y $n = 1$

$t_s' \leq 0,5$ s (según especificaciones de suministro)

Observación: La Vca será entre manos y pies o entre ambas manos (considerando un metro)

La tensión de paso será:

$$\text{Upa} = \frac{10K}{t^n} = \frac{10\ x\ 72}{0,5^1} = 1444\ V \qquad \text{(V. 5)}$$

- Tensiones máximas admisibles

Será a efectos de cálculo del proyecto, considerando todas las resistencias que intervienen en el circuito

Tensión de paso: $$Up = \frac{10K}{t^n}\left(1 + \frac{6\rho_S}{1000}\right) = 1786V \qquad \text{(V. 6)}$$

Tensión de contacto: $$Uc = \frac{k}{t^n}\left(1 + \frac{1,5\rho_S}{1000}\right) = 153V \qquad \text{(V. 7)}$$

Tensión de paso en el caso que la resistividad superficial del terreno sea distinta para cada pie (Acceso al CD^s o CT^s) :

$$U_{p(acc)} = \frac{10\,K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot \rho_s + 3\rho_s'}{1000}\right) = 14573\ V \qquad \text{(V. 8)}$$

2.2.4. TENSIONES DE PASO Y CONTACTO MÁXIMAS DE CÁLCULO (TEÓRICAS). DE LA P.A.T. ELEGIDA SE OBTIENEN LOS PARÁMETROS SIGUIENTES:

Coef. de resistencia (resistencia unitaria): Kr = 2,051]$\cdot \frac{\Omega}{\Omega \cdot m}$ [m^{-1}]

Coef. de tensión de paso (tensión unitaria de paso): $K_p = 0,0073 \frac{V}{(\Omega.m)\cdot(A)}$

Coef. de tensión de contacto (tensión unitaria de contacto): $K_c = K_{p(acc)} = \dfrac{V}{(\Omega.m)\cdot(A)}$

Tensión de paso: $V_\rho^{'} = \rho_s \cdot K_p \cdot I'd = 40\, x\, 0{,}0073\ x\, 449 = 131\, V$ (V. 9)

Tensión de contacto: $V_c^{'} = \rho_s \cdot K_c \cdot I'_d = 40\, x\, 0{,}0189\ x\, 449 = 339\, V$ ⟶

⟶ Tensión fuera de norma (V. 10)

2.2.5. MEDIDAS DE SEGURIDAD ADICIONALES PARA EVITAR TENSIONES DE CONTACTO EXTERIORES E INTERIORES PELIGROSAS

- Las puertas y rejillas metálicas que dan a los CD^{s} y CT^{s} no tendrán contacto eléctrico con las masas conductoras susceptibles de quedar sometidas a tensión debido a defectos o averías.

- Formación de una acera perimetral aislante de 1 m de anchura alrededor de los CD^{s} y CT^{s} (Salas eléctricas)

- En el piso de las salas eléctricas se instalará un mallazo (para equipo técnico red salas) con retículos (15 cm x 15 cm) ∅ 8 mm de acero electrosoldado se unirán por cuatro puntos expuestos con cable de cobre desnudo de 95 mm^2 al la p.a.t. de las respectivas salas. El mallazo se colocará a una profundidad de 8 cm bajo el pavimento.

En la fosas y bancadas de los equipos eléctricos no se colocará mallazo.
Ver plano 1.P.08

- El suelo estará pintado con pintura aislante
- El suelo de las naves dispondrá también de mallazo equipotencial.

2.2.6. COMPROBACIÓN DE MAGNITUDES

Comprobar que las magnitudes calculadas son inferiores a las máximas admisibles

$t_s < 0{,}9$ s; $t_s^{'} \leq 0{,}5s$ (tiempo de desconexión máximo).

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible	Deducciones
Resistencia de pat	$R'_t = 2{,}04\ \Omega$	≤	Rt { = 6 Ω (para tierras de autov) = 16 Ω (para Vbt = 8 kV)	Admisible
Intensidad de defecto	$I'_d = 449$ A	≤ >	$I_d = 500$ A $I'_a = 50$ A (tiempo de arranque relé de protección)	Admisible
Tensión de defecto	$U'_d = 916$ V	≤	$V_d = 1000$ V	Implica sistema de p.a.t. único
Tensión de paso en el exterior	$U`_p = 131$ V	≤	$U_p = 1786$ V	Admisible
Tensión de paso en el acceso a CD^s y CT^s	$U'_{p(acc)} = 339$ V	≤	$U_{p(acc.)} = 14573$ V	Admisible
Tensión de contacto en el exterior	$U'_c = 339$ V	≤	$U_c = 153$ V	No admisible Con medidas de seguridad adicionales

Sistema neutro puesto a tierra en trafo 66/ 25 kV

Aclaraciones:
- la tensión de contacto y paso interiores serán prácticamente cero debido al mallazo equipotencial de las salas eléctricas
- La tensión de contacto exterior será prácticamente cero, debido a las medidas adicionales de seguridad.

2.2.7. INSTALACIÓN DE TIERRA GENERAL

De forma implícita se sintetizará indicando que el sistema de p.a.t. de las masas de MT y de servicio (neutro de BT) será único

De forma explícita se indica que se conectarán a la instalación de tierra general (de protección y servicio) los elementos siguientes:

- Masas de MT (Aparellaje y aparamenta en general)
- Masas de BT a través del de líneas principales de tierras, derivaciones y CP (PE). [sistema de régimen de neutro TN-S]
- Neutro de los Transformadores de potencia
- Envolturas o pantallas metálicas de los cables
- Armaduras metálicas interiores de la edificación
- Pantallas o enrejadas de protección
- Autoválvulas de MT y de BT
- Bornes de tierra de los detectores de tensión
- Bornes de p.a.t. de los secundarios de los trafos de intensidad y tensión
- Pararrayos.

Referencias:
- MIE – RAT – 13
- NTE – IEP / 1973
- Planos: 1.P.08.

22.8. SOLUCIONES ADOPTADAS FINALES

2.2.8.1. Centros de distribución: CDC y CDA

Se aplicará una puesta a tierra común para la sala de Distribución de la Compañía y la del Abonado. Refs. Planos 1.P.06.01 ; 1.P.07/08.

- Puesta a tierra

Configuración base (según UNESA) : 80 – 40 / 8 / 84:
Kr = 0,051 ; Kp = 0,0073 ; Kc = Kp (acc) = 0,0189
Rectángulo 8x4 con 8 picas de 4m de longitud
Se instalará una configuración equivalente en hilera
2 x 8 / 52 (Ver planos: 1.P.08.).

- Cable de hileras horizontales (conductores principales de tierra) a una profundidad de 8 cm: 70 mm^2 de Cu desnudo. Según MIE BT 039 (6-2-3) las secciones mínimas serán: 35 mm^2 para Cu o 95 mm^2 para acero galvanizado.

- 2x5 picas de acero cobreado o zincado, ∅ = 20 mm

L = 2 m, separadas entre si de 3 m.
Se intercalarán picos de grafito rígido de idénticas dimensiones
Según MIE BT 039 (6-2-2): Picas de acero cubiertas de cobre de 14 mm de ∅ y 2 m de longitud.

- Mallazos para equipotencialidad eléctrica

Retículos de acero electrosoldado de 15 x 15 cm, 8mm de ∅
Los mallazos se suministrarán en paneles de 6x 2 m.

- Uniones

Cable de cobre aislado VV 06/1 kV de 95 mm^2
Los mallazos se unirán por cuatro puntos opuesto a la p.a.t. de los CDS. Estando soldados con oxiacetileno en cada extremo.
6 arquetas de conexión y registro 40 x 40 x 40 cm con electrodos de acero cobre de 2 cm de ∅
Cada electrodo o conjunto de electrodos dispondrán de un registro de pared.

- La sección mínima de los conductores enterrados, según MIE-RAT 13 P.3.1 será:

$$Stierra = \frac{I'_d}{J} = \frac{449}{160} = 2{,}8\,mm^2$$

Se eligen sobredimensiomados por razones de consistencia y durabilidad

Siendo: I'_d = intensidad de defecto máxima de cortocircuito en MT = 449 A

J = densidad de corriente = 160 A / mm^2 para el cobre y 60 A / mm^2 para el acero.

- Para los conductores al aire desnudos o aislados de la línea principal de puesta a tierra se aplica la ecuación:

$$s \geq \frac{I_d}{\alpha}\sqrt{\frac{t}{\Delta\theta}}$$

siendo Δθ = 160º para conductores aislados EPR o XLPE
180º para conductores desnudos

También quedan sobredimensionados.

- Las derivaciones al aparellaje serán de 50 mm^2 para conductores desnudos.
- Derivaciones varias a 25 mm^2
- CP^s para instrumentos de 6 mm^2
- Descargador autovalvular derivación independiente de 50 mm^2 aislado VV 06 / 1 kV. Idem para pararrayos.

2.2.8.2. Centros de Transformación (CT^s)

Al tratarse de sistemas de p.a.t. único, en este apartado se tratará la p.a.t. y las líneas principales y derivaciones para MT

Las líneas principales derivaciones individuales y CP^s de b.t. se estudiarán en el apartado correspondiente de baja tensión

Se aplicará una p.a.t. por cada CT.

Ref. planos 1.P.06.02 ; 1.P.07/08.

- Puesta a tierra.

Configuración base (según UNESA) : 80 – 40 / 8 / 84:
Kr = 0,051 ; Kp = 0,0073 ; Kc = Kp (acc) = 0,0189
Rectángulo 8x4 con 8 picas de 4m de longitud
Se instalará una configuración equivalente en hilera
2 x 8 / 52 (Ver planos): 1.P.08; 1.P.06.01-PT

- Cable de hileras horizontales (conductores principales de tierra) a una profundidad de 8 cm: 70 mm^2 de Cu desnudo. Según MIE BT 039 (6-2-3) las secciones mínimas serán: 35 mm^2 para Cu o 95 mm^2 para acero galvanizado

- 2x5 picas de acero cobreado o zincado, ∅ = 20 mm

L = 2 m, separadas entre si de 3 m.
Se intercalarán picos de grafito rígido de idénticas dimensiones
Según MIE BT 039 (6-2-2): Picas de acero cubiertas de cobre de 14 mm de ∅ y 2 m de longitud.

- Mallazos para equipotencialidad eléctrica

Retículos de acero electrosoldado de 15 x 15 cm, 8mm ∅
Los mallazos se suministrarán en paneles de 6x 2 m

- Uniones

Cable de cobre aislado VV 06/1 kV de 95 mm^2
Los mallazos se unirán por cuatro puntos opuestos a la p.a.t. de los CD^s. Estando soldados con oxiacetileno en cada extremo.
6 arquetas de conexión y registro 40 x 40 x 40 cm con electrodos de acero cobre de 2 cm de θ
Cada electrodo o conjunto de electrodos dispondrán de un registro de pared.

- La sección mínima de los conductores enterrados, según MIE-RAT 13 P.3.1 será:

$$Stierra = \frac{(I_{BT})_{k1p.t.}}{J} = \frac{11000A}{160A/mm^2} = 68{,}75mm^2$$

$I_{BT} >> I'_{dMT}$
$(I_{BT})_{k1p} = 11$ kA

Para los conductores al aire en MT, quedan sobredimensionados con 95 mm^2 Cu

Siendo: I'_d = intensidad de defecto máxima de cortocircuito en MT = 449 A
J = densidad de corriente = 160 A / mm^2 para el Cobre y 60 A / mm^2 para el acero.

Los pilares metálicos tendrán su propio sistema de tierras formados por anillos con cable de Cu desnudo de 50 mm^2 de sección y picos de acero-cobre o zincado de 2 m y 20 mm ∅.

Si en la obra civil de las naves se establece un mallazo equipotencial genérico el sistema de p.a.t. de CT y general de naves se podría unificar según se deduce de lo estudiado en el presente estudio.

Ver NTE / IEP 73 : IEP Puesta a tierra / IET Centros de transformación.

V.3. RED DE TIERRAS PARA INSTALACIÓN BT

- Datos preliminares:

  – Tensión nominal: 380 V
  – Aislamiento: 0,6/1 kV
  – Corriente de cortocircuito monofásico para el caso de mayor magnitud: 36 kA.

3.1. TOMA DE TIERRA

- Característica del terreno:

  Según el estudio geotécnico de Thissen la resistividad del terreno es en promedio de $\rho = 40\ \Omega \cdot m$ (limo y turba húmeda con proximidad a río Llobregat); MIE BT 39 Tabla I/II. El valor de la resistividad ha sido obtenida mediante un estudio en campo.

En el extremo superior de la malla enterrada se deja una arqueta de obra de fábrica destinadas a fijar en ella la brida de conexión.

- Resistencia de tierra admisible: $R_{admis.} < 15\ \Omega$
- Como toma de tierra de cimiento convencional se utilizaran redondos de acero de 8 mm de diámetro o también acero de flejes zincado de 40 x 5 mm.
  La toma de tierra de cimientos estará unida a la estructura metálica de cimentación y sustentación.
  La unión entre la malla y los pilares de acero de sustentación, se realizará mediante pletina de acero de 40 X 5 mm soldada eléctricamente o aluminotérmicamente en ambos extremos.

Para que la toma de tierra sea eficiente y garantice la equipotencialidad, debe asegurarse la continuidad eléctrica de cada uno de los redondos de 8 mm del perímetro de cada conjunto de 6 x 2 m de estos mallazos, para interconectarlos todos entre sí.

Con el fín de conseguir una protección suficiente contra la corrosión la malla de la toma de tierra de cimientos se rodeará de una capa de hormigón de unos 10 mm de espesor.

S_{tierra} = 26000 / 100 = 162,5 mm^2

$I_{Kmáx.}$ = 26 kA

- Se elige conductor de 4 x 95 mm^2 Cu
- Una masa cualquiera no puede permanecer en relación a una toma de tierra eléctricamente distinta, a un potencial superior, en valor eficaz, a:

  -24 voltios en los locales o emplazamientos conductores.

-50 voltios en los demás casos.

(MIE BT 021 apar. 2.7): Este apartado queda garantizado para tiempo de desconexión indefinido puesto que en el sistema TN S el conductor PE se dimensionará cumpliendo esta premisa.

3.2. LÍNEA PRINCIPAL DE PUESTA A TIERRA

Esta línea comprende desde el punto de puesta a tierra hasta las conexiones con las derivaciones de la puesta a tierra de las masas a través de los conductores de protección; todos los puntos de unión entre electrodos, línea principal de tierra, línea de enlace con tierra, derivaciones, conductores de protección y masas estarán garantizadas su perfecta continuidad mediante puntos de soldadura y bridas bien realizadas.

La sección de la línea principal de tierra (conductor desnudo) será:

$$S \geq \frac{I_{Kp}}{\alpha}\sqrt{\frac{t}{\Delta\Theta}} = 353{,}5mm^2 \text{ aislado; } 333{,}3 \text{ mm}^2 \text{ desnudo}$$

siendo:

I : intensidad de defecto máxima prevista en [A] = 26 kA. Los trafos en paralelo de 2 x 1000 kVA)

t : tiempo de duración de la falla en [s]

α (parámetro para t < 5 s) = 13 para Cu

Δθ = 160º C para conductor aislado con EPR ó XLPE

180º C para conductor desnudo.

Se eligen 2 x 185 mm^2 Cu desnudo.

3.3. DERIVACIONES Y CONDUCTORES DE PROTECCIÓN

En el esquema correspondiente a los planos 3.E.01.XX se puede ver la distribución de la puesta a tierra. Las derivaciones serán de Cu desnudo de 1 x 240 mm^2 de sección, excepto casos particulares

$$S \geq \frac{I_d}{\alpha}\sqrt{\frac{t}{\Delta\Theta}} = 202mm^2$$

$(I_{k1D})_{PE}$ = 15,75 kA (en la línea de distribución de mayor intensidad)

La protección contra contactos indirectos de la clase B será mediante puesta a tierra de las masas de los aparatos de utilización, manteniéndose el neutro, en la instalación del abonado (BT) aislado de este circuito de puesta a tierra.

La intensidad de defecto la determinaremos en función de la tensión de contacto de 65 (según norma) y la resistencia de la persona de 3000 Ω con manos y pies secos.

$$I_M = \frac{U_B}{R_M} = \frac{65V}{3000\ \Omega} = 0{,}0217\ A$$

Así pues la sensibilidad para los relés e interruptores diferenciales será de 30 mA para cuadros o cajas de herramientas eléctricas o electromecánicas. Para el resto de los casos la sensibilidad será de 300 mA o más, pero cumpliéndose:

La elección de la sensibilidad del interruptor diferencial que debe utilizarse en cada caso, viene determinada por la condición de que el valor de la resistencia a tierra de las masas, medida en cada punto de conexión de las mismas, debe cumplir la relación:

En locales o emplazamientos secos: $R \leq 50/I$

En locales o emplazamientos húmedos o mojados: $R \leq 24/I$

Por defecto la sección del conductor de protección cumplirá con MIE BT 0,17 ap. 2.2 (Tabla VI).

En BT la sensibilidad más baja de los relés o interruptores diferenciales utilizados es de 2 A durante un tiempo máximo de disparo de 5 s, esto implica que para emplazamientos húmedos, la resistencia a tierra de las masas no sea superior a 12 Ω.

De forma similar se emplean estos aparatos con el sistema de puesta a neutro de las masas a través de un conductor de protección de acuerdo con lo especificado en el apartado 2.10 de esta Instrucción.
Según la definición de CP será siempre aislado.

Las tomas de tierra de equipos electrónicos e informáticos serán independientes y su resistencia será la especificada por el fabricante.

La tensión de contacto la determinaremos en función de la tensión de servicio simple (220 V), la resistencia total y la resistencia del cuerpo.

$$R_{total} = R_{cond} + R_{falta} + R_{contacto} + R_{empl.} + R_{tierra}$$

$$U_{contacto} = I_F \, R_{contacto}.$$

- Si la tensión de contacto es mayor de 50 o 65 V la intensidad será alta y por tanto debe de disparar el interruptor diferencial ($I_{FN} \geq 30$ mA) en 0,2 s.

Por la importancia que ofrece, desde el punto de vista de seguridad, en la instalación de la red de tierras es obligatorio su comprobación por los servicios oficiales en el momento de darla de alta para su funcionamiento. Se revisará con una perioricidad de un año por personal técnicamente competente, en la época en la cual el terreno esté más seco (MIE BT 039-10 y MIE RAT 13)

- Si la tensión de contacto es menor de 50 V estaremos dentro de la tensión de seguridad, no siendo peligrosa para la persona , para recintos o emplazamientos secos.

Cuando el interruptor diferencial es de alta sensibilidad, esto es, cuando es del orden de los 30 mA, puede utilizarse en instalaciones existentes en las que no haya conductores de protección para la puesta a tierra de las masas.

V.4. PUESTA A TIERRA DE LOS EDIFICIOS (MIE – IEP M 3)

4.1. SITUACIÓN ACTUAL

En la actualidad, la planta en cuestión se encuentra en fase de excavación y de construcción de los pilotos de sección circular de cemento armado a 16 m de profundidad, dispuestos de tres en tres por debajo de cada zapata o encepado individual, que constituirá la base de sustentación de cada uno de los pilares de la estructura metálica.

Los pilotos y encepados van a quedar terminados a finales del mes de agosto del presente año, al igual que la nave de los pórticos y zona de almacenaje, donde ya se está construyendo la estructura metálica de la sustentación y la cubierta.

La finalización de la construcción de la estructura de la planta está provista para final de año, por lo que están ya construyendo los pilares metálicos de sustentación.

4.2. TOMA DE TIERRA DE CIMIENTOS

Dado que la instalación eléctrica de alta intensidad requiere determinadas resistencias de puesta a tierra, y como la toma de cimientos de tierra ofrece buenas resistencias de toma de tierra cuando ha sido tendida correctamente, la citada toma de tierra de cimientos representa un completo óptimo y efectivo para la derivación y disipación de esas corrientes hacia tierra, a la vez que constituye una forma correcta y útil de obtener la equipotencialidad de todas las masas de la factoría.

Debido a las características de la alta agresividad del suelo de dicha zona, con valores de resistividad media menores a 40 Ω. m y a la superficialidad de los niveles freáticos, debemos establecer un sistema de puestas a tierra de cimientos que permita eliminar los posibles pares galvánicos como pueden ser el cobre-hierro, y por tanto, los conductores principales enterrados o incluidos dentro de los armazones de hormigón de las estructuras de sustentación, deberán ser de acero o acero zincado.

4.2.1. MATERIALES DE LA TOMA DE TIERRA DE CIMIENTOS

Como toma de tierra de cimientos convencional pueden utilizarse redondos de acero de 8 x10 mm o también acero de flejes zincado de 40 x 30 x 3,5 mm o de 25 x 4 mm o cable de cobre de 50 mm^2.

Asimismo también pueden usarse como electrodos de puesta a tierra jabalinas de acero cobreado o zincado, de acero inoxidable, de grafito, etc.

4.2.2. INSTALACIÓN DE LA TOMA DE TIERRA DE CIMIENTOS

La toma de tierra de cimientos estará unida a toda la estructura metálica de cimentación y sustentación.

Dado el estado avanzado en que se encuentra la obra, la red de puesta a tierra de cimientos estará constituída por una parte, por una malla electrosoldada de pavimento, y por otra, por una serie de electrodos de puesta a tierra.

Esta se instalará a modo de una malla electrosoldada de acero aprovechando el mallado de acero electrosoldado de 15 cm x 15 cm x 8 mm del pavimento de la nave, que todavía no se ha empezado a ejecutar.

Este mallazo electrosoldado de pavimentación, se presenta en conjuntos de 6 x 2 m aproximadaemente y se colocará con un solape de 35 cm entre cada uno de estos.

Para que la toma de tierra sea eficiente y garantice la equipotencialidad, debe asegurarse la continuidad eléctrica de esta, soldando eléctricamente cada uno de los redondos de 8 mm del perímetro de cada conjunto de los 6 x 2 m de estos mallazos, para interconectarlos a todos entre sí.

Con el fin de conseguir una protección suficiente contra la corrosión,la malla de la toma de tierra de cimientos se rodeará de una capa de hormigón como mínimo de 10 cm de espesor.

La unión entre la malla y los pilares de acero de sustentación, se realizará mediante pletina de acero de 40 x 5 mm soldada eléctrica o aluminotérmicamente en ambos extremos.

4.2.3. ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

Para obtener una mayor disipación y valor de resistencia a tierra de la red de puesta a tierra de cimientos, se instalarán electrodos de puesta a tierra, a un metro de separación del encepado de los pilares.

Debido a los problemas de corrosión de la zona, que puede considerarse como un problema endémico de la misma, de las tomas de tierra (a parte de la malla de pavimentación), estará formada por electrodos de grafito rígido, que por su naturaleza no están sujetos a las altas velocidades de desgaste por corrosión; y por electrodos de acero cobrado o zincado, que por normativa deben ser colocados.

Los electrodos de grafito rígido y los de acero cobreado o zincado, se clocarán alternadamente a lo largo de todo el perímetro exterior de la planta, mientras que en el centro sólo serán de acero cobreado o zincado. La disposición de estas, así como los detalles constructivos se muestran en los planos adjuntos.

Cada electrodo de puesta a tierra dispondrá de un registro de pared para facilitar el control y la medida de estas, además de evitar problemas de corrosión o sulfatación en las conexiones.

De esta forma se instalará un registro a 3 m de altura en la pared del perímetro exterior y frente a cada uno de los pilares de sustentación, mientras que en los pilares interiores donde esté prevista la colocación de electrodos de puesta atierra, este se instalará a 1,5 m de altura.

La conexión del electrodo a la barra equipotencial del registro del control se efectuará mediante cable de cobre de 50 mm^2 aislado en PVC para evitar la corrosión de éste en la interfase tierra-aire.

Paralelamente, dicho protector estará protegido con tubo de acero galvanizado desde el pavimento hasta el registro, para evitar tensiones de contacto peligrosas y manipulaciones inadecuadas o fortuitas.

La conexión eléctrica de este conductor con los electrodos se realizará mediante soldadura aluminotérmica de alto punto de fusión y deberá recubrirse exteriormente mediante cinta anticorrosiva o cartucho de resina epoxídica.

La conexión al registro de control, se realiza mediante terminal roscado a una pletina de compensación de potencial o de equipotencialidad, permitiendo conectar a la misma, más conductores de servicio.

Se proveerán también conexiones desde estos registros a los pilares de sustentación para obtener una conexión fiable y garantizar la equipotencialidad de todas las masas, mediante cable de cobre de 50 mm^2 o varilla de cobre de 8 mm, unida al pilar mediante soldadura aluminotérmica de alto punto de fusión.

4.3. LÍNEAS PRINCIPALES DE PUESTA A TIERRA

La red principal de distribución de tierra para los diferentes equipamientos eléctricos, etc. ya deben haber sido previstas en el proyecto eléctrico, y por lo tanto sólo definiremos la conexión de esta con la red general de puestas a tierra de cimientos.

El proyecto actual eléctrico, ha establecido la colocación de un anillo interior de cable de cobre de 50 mm^2 desnudo a través de una bandeja situada aproximadamente a 3 m de altura, como conductor de tierra principal, y distribuir a partir de este los servicios a todos los equipamientos.

El anillo aéreo interior de conductor de tierra previsto, debe conectarse a los registros de puesta a tierra que han sido específicamente previstos en la red de tomas de tierra de cimientos.

En caso de conectarse a los registros donde está previsto también la conexión del sistema de protección externa contra las descargas eléctricas atmosféricas, el conductor debe situarse en dirección hacia arriba para evitar que ni por la inercia de la propia descarga atmosférica, y en caso de defecto de tierra, circule por el conductor principal de protección.

No hay que olvidar, que dado que se ha abordado la puesta a tierra de cimientos, toda la estructura metálica de sustentación, incluidos los pilares, constituyen una verdadera malla de conductores a tierra, y por tanto, podrían conectarse directamente a estos todos los conductores de servicios necesarios. Sin embargo, por motivos de control y mantenimiento, es siempre importante establecer unas líneas principales que garanticen estos servicios.

4.4. INSTALACIÓN DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS (PARARRAYOS)

La protección externa contra el rayo es según VDE 0185, parte 1, la totalidad de los dispositivos que existan o instalen sobre o en la instalación a proteger, para captar y derivar la corriente del rayo a la instalación de tierra. Esta protección está compuesta pues por:

- Instalación captadora y derivadores o bajantes a tierra
- Instalación de puesta a tierra.

4.4.1. INSTALACIÓN CAPTADORA DE DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS.

Constituyen una instalación captadora de la totalidad de las pieza metálicas situadas por encima de la construcción, o en sus laterales o en su proximidad, como pueden ser puntas captadoras, varilla o malla captadora, chimeneas, colectores de aspiración, antenas, etc...

La instalación captadora estará constituida por:

- Puntas captadoras
- Malla conductora y derivadores o bajantes a tierra

a/ Puntas captadoras
Las puntas aéreas de captación de las descargas, se situarán a lo largo de la arista perimetral de la edificación, según se muestra en plano adjunto, colocándose sólo algunas puntas captadoras sobre la cubierta coincidiendo con las uniones de la malla conductora.

Las puntas aéreas de captación serán de acero inoxidable de 16 mm x 2,5 m de altura, con orejeta de conexión, soportando mediante dados de hormigón, o bien fijados directamente sobre la estructura metálica a proteger.

Cada punta captadora estará directamente conectada a la malla conductora de protección, mediante cable de cobre rígido desnudo de 50 mm^2 de sección y una unión soldada aluminotérmica.

Las puntas captadoras perimetrales estarán, además, conectadas a los conductores bajantes a tierra laterales del edificio de la misma malla conductora de protección, de forma que exista una puesta a tierra directa en cada uno de ellos. Para las puntas captadoras situadas en la zona central de la planta, será suficiente el que dispongan de la malla protectora para la derivación a tierra de las descargas.

b/ Malla conductora y derivadores o bajantes a tierra

La malla conductora está constituida por una malla de geometría rectangular de 25 x 30 m de cable de cobre rígido y desnudo de 50 mm^2, tendido por encima de la cubierta, aislamiento y grava del techo de la planta.

Las uniones de la citada malla se realizarán mediante soldadura aluminotérmica de alto punto de fusión, y estará soportado a lo largo de toda su longitud, por bridas de fijación montadas sobre dados de cemento separados 1,5 m aproximadamente.

La malla conductora se prolongará hacia los laterales de la edificación hasta conectar con los registros de puesta a tierra previstos en la instalación de toma de tierra de cimientos. Estos tramos, que también pueden denominarse bajantes a tierra o derivadores, son los que estarán conectados a las puntas captadoras perimetrales, y se tenderán exteriormente frente a cada uno de los pilares de sustentación del perímetro de la planta.

Estos bajantes serán fijados mediante bridas de bronce y tornillos autorroscantes, a la chapa exterior de cerramiento de la nave, con una separación de 2 m en los tramos verticales, y de 1,2 m máximo en los horizontales, y por tanto quedará conectada a esta eléctricamente.

Cualquier elemento metálico o que sobresalga más de 0,5 m por encima del techo de la factoría, deberá proveerse de una conexión a tierra a través de un cable de cobre de 50 mm^2 unido por soldadura aluminotérmica, a la malla conductora de protección o bien proveerlo de una punta captadora y conectada a la malla que garantice la protección de este elemento.

De esta forma, se han previsto inicialmente para los colectores metálicos de aspiración de los sistemas de aire acondicionado y calefacción que sobresalen alrededor de 1,8 m por encima de la cubierta del edificio, unas puntas de captación fijadas a sus laterales, mediante una pletina de acero roscada que estará a su vez conectada gracias a una terminal y tornillo al cable de cobre de unión con la malla captadora.

4.4.2. INSTALACIÓN DE TIERRA

La instalación de puesta a tierra necesaria para la protección contra las descargas eléctricas atmosféricas, ha sido estudiada conforme a la toma de tierra de cimientos prevista en este proyecto, y por tanto ya ha sido descrita anteriormente.

a/ Tomas de tierra en cimientos

La realización de instalaciones de toma de tierra seguirá las directrices del Reglamento Electrónico de Baja Tensión e instrucciones complementarias, y también se adecuará a las “ Directrices para la inclusión de la toma de tierra de cimientos en los cimientos de un edificio de directrices VDEW “.

b/ Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (pararrayos)

Para la planificación y realización de instalaciones de protección contra rayos, son de aplicación las directrices expresadas en la norma DIN 57185/VDE 0185 partes 1 y 2, y la Norma internacional Standard

CEI IEC 1024-1 para la “Protección de Estructuras Contra el Rayo”, que en todo momento cumplen los requisitos expresados en la normativa española de la Norma Tecnológica de la Edificación concerniente a pararrayos IPP de 1973.