

B	04-09-2026	Cliente	SEDIMA	C.Pedraza	O.Escorcia
Rev	Fecha	Emitido Para	Elaboró	Revisó	Aprobó

INGENIERÍA DETALLADA DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN AUTÓNOMO PARA LA LÍNEA TEMPORAL SAMORÉ: CRUCE “LA CHINA”



MEMORIAS DE PREDISEÑO DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA/SIPRA (1749-MC-E-732)

CLIENTE:



+57 3507268200



info@sedima.com.co



www.sedima.com.co

TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETO	3
2. ALCANCE	3
3. MARCO NORMATIVO	3
4. FILOSOFÍA DE DISEÑO.....	4
5. GEOMETRÍA OPTIMIZADA DE LA MALLA	5
6. DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELECTRODOS	7
7. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE LA MALLA	8
8. RESISTENCIA GLOBAL DEL SISTEMA	9
9. SISTEMA DE APANTALLAMIENTO (PROTECCIÓN CONTRA CONTRARAYOS - LPS)	11
9.1 Filosofía	11
9.2 Nivel de protección preliminar	11
9.3 Captación	11
9.4 Bajantes	13
9.5 Puesta a tierra del LPS	13
10. VERIFICACIÓN DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA	13
11. CONCLUSIONES	14
12. REFERENCIAS CONSULTADAS.....	16
13. CONTROL DE CAMBIOS.....	16

MEMORIAS DE PREDISEÑO DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA

1. OBJETO

Presentar la revisión técnica y reglamentaria, junto con los resultados de prediseño, del SISTEMA DE PUESTA A TIERRA, EQUIPOTENCIALIDAD, APANTALLAMIENTO Y PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES para la solución de ingeniería del sistema de protección autónomo de la línea temporal Samoré, cruce aéreo “La China”, incorporando la nueva geometría perimetral de 9,0 m x 2,5 m y diez (10) electrodos verticales de 2,40 m.

2. ALCANCE

Definir la filosofía integral de puesta a tierra de protección, funcional e instrumentación; revisar el cumplimiento del marco regulatorio colombiano vigente; dimensionar preliminarmente el anillo enterrado, los electrodos verticales, conductores de unión y criterios de integración con el sistema de protección contra rayos; y establecer requisitos de equipotencialidad para tuberías, válvulas, soportes, gabinetes, instrumentos, poste solar, antena GPRS y demás masas metálicas.

Exclusiones: Esta memoria corresponde a ingeniería de prediseño y no sustituye la medición de resistividad del terreno, el levantamiento topográfico, la clasificación de áreas peligrosas, el estudio formal de riesgo frente al rayo, la determinación de corriente de falla y tiempo de despeje, el análisis de interferencia con protección catódica ni la revisión y firma por profesional legalmente competente. Los resultados numéricos deben actualizarse con datos de campo antes de emisión para construcción.

3. MARCO NORMATIVO

La revisión normativa efectuada para esta Rev. B confirma que el RETIE vigente corresponde a la Resolución 40284 del 23 de junio de 2026. Para el SPT resultan especialmente aplicables los artículos 3.12.1 a 3.12.6 del Libro 3; para protección contra rayos y sobretensiones, el Título 13; y para

requisitos de producto de los electrodos, el Libro 2. Se corrige además el criterio de la versión anterior: el valor de $10\ \Omega$ no debe denominarse “límite RETIE” absoluto, sino valor de referencia para aplicaciones como protección contra rayos y equipos electrónicos o sensibles; la seguridad se demuestra prioritariamente mediante el control de tensiones de paso, contacto y transferidas.

- RETIE — Resolución 40284 de 2026, Libros 2, 3 y 4. Requisitos obligatorios de producto, instalación, medición y evaluación de la conformidad del SPT.
- NTC 2050 — Segunda Actualización. Requisitos aplicables a electrodos, conductores de puesta a tierra, conductores de protección y sistemas de corriente continua.
- NTC 4552-2 / NTC 4552-3. Evaluación del riesgo frente al rayo y diseño del sistema integral de protección contra rayos.
- IEC 62305-2 / IEC 62305-3 / IEC 62305-4. Evaluación de riesgo, LPS externo, equipotencialidad y protección de sistemas eléctricos/electrónicos.
- IEC 60079-14:2024. Diseño, selección e instalación de equipos eléctricos en atmósferas potencialmente explosivas.
- API RP 500 / API RP 505. Criterios complementarios de clasificación de áreas en instalaciones de petróleo y gas.
- IEEE 80. Referencia metodológica para seguridad de sistemas de puesta a tierra y tensiones de paso/contacto.
- IEEE 81-2025. Métodos de medición de resistividad, impedancia/resistencia de tierra y potenciales de superficie.
- IEEE 837 / UL 467 / NTC 2206. Conexiones enterradas, electrodos y accesorios de puesta a tierra.

4. FILOSOFÍA DE DISEÑO

Se adopta como principio rector un único sistema equipotencial de tierra para la estación. El anillo enterrado funciona como referencia común de baja impedancia para protección, instrumentación y LPS, evitando tierras aisladas que puedan desarrollar diferencias peligrosas de potencial. Todas las masas metálicas accesibles deben unirse al sistema; las conexiones enterradas serán permanentes mediante soldadura exotérmica o conectores certificados para enterramiento directo. La coordinación con protección catódica deberá verificarse expresamente para no puentear juntas aislantes ni degradar el control de corrosión. En área clasificada, las rutas del LPS, equipos eléctricos, cables de 24 VDC y señales se coordinarán con el análisis de riesgo de ignición y las distancias de separación aplicables.

5. GEOMETRÍA OPTIMIZADA DE LA MALLA

La geometría revisada corresponde a un anillo rectangular cerrado de 9,0 m × 2,5 m alrededor del skid de aproximadamente 7,0 m × 1,5 m. Se disponen diez (10) electrodos de 2,40 m, cinco por cada lado longitudinal, incluyendo las cuatro esquinas. El espaciamiento longitudinal nominal entre electrodos es 2,25 m y la separación transversal entre filas es 2,50 m. Esta configuración reduce significativamente el área efectiva de dispersión respecto de la alternativa 12 m × 8 m; por ello, su desempeño debe verificarse sin asumir que el valor de 10 Ω se conservará automáticamente.

Parámetro	Resultado
Dimensiones del anillo	9,0 × 2,5 m
Área encerrada A	22,5 m ²
Conductores longitudinales	2
Conductores transversales	2 (cierres extremos)
Separación longitudinal de electrodos	≈ 2,25 m
Separación transversal entre filas	2,50 m
Longitud total de conductor horizontal	23,0 m
Profundidad preliminar	0,60 m
Electrodos	10 × 2,40 m

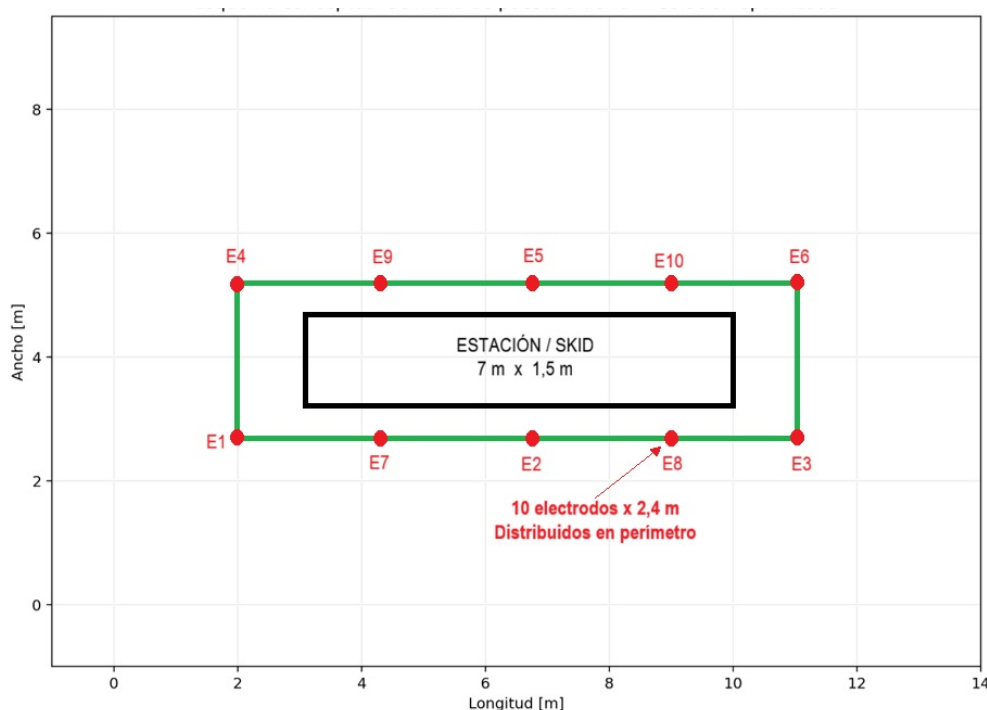
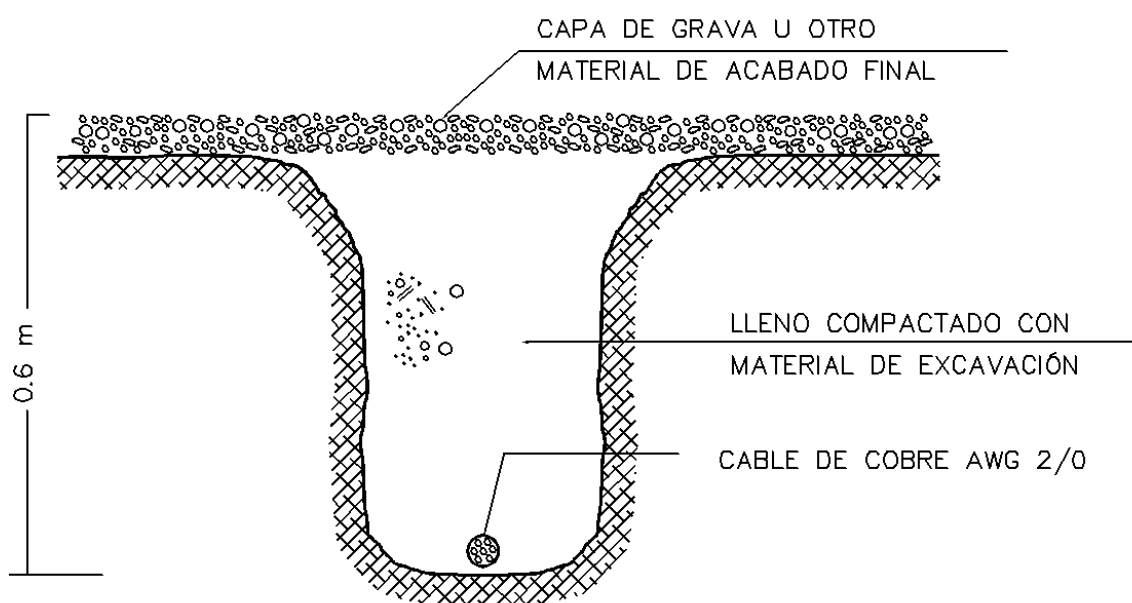


Figura 2. Geometría perimetral 9,0 m × 2,5 m con 10 electrodos de 2,40 m.

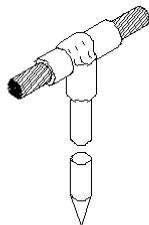
El anillo deberá coordinarse con cimentaciones, tuberías, drenajes, canalizaciones y servicios enterrados. Los electrodos se ubicarán en los puntos E1–E10 indicados en la figura y sus conexiones deberán quedar permanentemente unidas al anillo. Se habilitarán puntos accesibles de inspección y medición; las cajas deberán cumplir las dimensiones mínimas exigidas por RETIE. La proximidad entre electrodos —del orden de una longitud de varilla— incrementa la interacción mutua, por lo cual no es técnicamente válido suponer eficiencia lineal al aumentar el número de varillas.



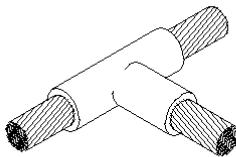
MATERIALES

Elemento	Especificación preliminar	Observación
Malla principal	Cobre desnudo 50 mm ² (1/0 AWG ≈ 53,5 mm ²)	Enterrado; conexiones exotérmicas o certificadas
Electrodos	Acero cobreado 5/8 in × 2,40 m	Recubrimiento de cobre ≥ 0,25 mm y producto conforme RETIE/NTC 2206
Bajantes LPS	Cobre 50 mm ² mínimo	Definir cantidad/ruta por estudio LPS; en área con peligro de explosión considerar bajantes aisladas
Bonds de equipos	Cu 16–35 mm ² según función	Dimensionar por fabricante/corriente y ambiente
Conectores enterrados	Soldadura exotérmica o certificado enterramiento directo	IEEE 837 / UL 467 / NTC 2206
Cajas de inspección	≥ 30 × 30 cm	Tapa removible y señalización
Protección mecánica	PVC/HDPE u otro sistema compatible	En puntos expuestos a golpes

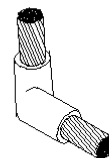
SOLDADURAS UTILIZADAS



CONEXION CABLE-VARILLA



CONEXION CABLE- CABLE EN T



CONEXION CABLE-CABLE EN L

EQUIPOTENCIALIDAD

Se debe garantizar que en la Tubería principal de gas, haya unión equipotencial a la malla en varios puntos, evitando trayectos largos de retorno. En Válvulas y cuerpos metálicos, presencia bonding individual cuando la continuidad eléctrica no esté garantizada por las uniones mecánicas. En los soportes de tubería se debe conectar las estructuras metálicas a la malla; no utilizar la tubería como sustituto del conductor de tierra; En los gabinetes de RTU, fuentes, cajas de instrumentación y paneles solares también debe haber una conexión al barraje PE/TE y a la malla; finalmente para la Antena GPRS y su mástil, se debe asegurar la equipotencialización y protección contra sobretensiones de la línea de comunicación.

6. DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELECTRODOS

Se mantiene la restricción constructiva de electrodos verticales de 2,40 m. Como referencia de cálculo se adopta varilla de acero cobreado de diámetro nominal 5/8 in (≈ 16 mm). El producto definitivo deberá cumplir RETIE y NTC 2206; para varilla de acero recubierta en cobre se verificará, entre otros requisitos, un recubrimiento mínimo de 0,25 mm. La longitud de 2,40 m satisface la longitud mínima reglamentaria del electrodo tipo varilla o tubo.

$$R_1 = \rho / (2\pi L) \cdot [\ln(4L/d) - 1]$$

$$R_1 = 400 / (2\pi \cdot 2,40) \cdot [\ln(4 \cdot 2,40 / 0,016) - 1] \approx 143,16 \, \Omega$$

Para mantener comparabilidad con la memoria Rev. A se conserva, únicamente como aproximación preliminar, el factor de interacción $K_m = 1,40$. Debe advertirse que el espaciamiento real de 2,25–2,50 m

es cercano a la longitud del electrodo (2,40 m), por lo cual el acoplamiento entre varillas es significativo y el cálculo final debe resolverse con un modelo de suelo y geometría real.

$$R_{10} \approx R_1 \cdot K_m / 10 = 20,04 \, \Omega$$

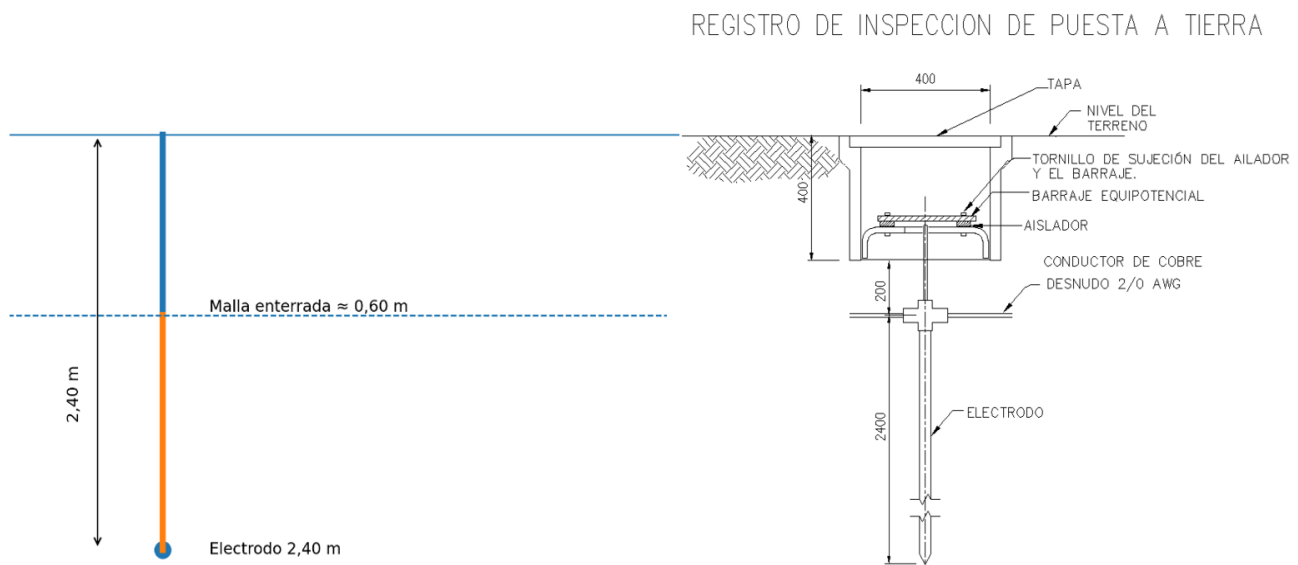


Figura 3. Detalle conceptual del electrodo de 2,40 m.

7. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE LA MALLA

Para la verificación preliminar se conserva el escenario homogéneo de resistividad $\rho = 400 \, \Omega \cdot m$ utilizado en la Rev. A, exclusivamente para comparar geometrías. Este valor no corresponde a una medición del sitio. El RETIE permite el método tetraelectródico de Wenner y otros métodos reconocidos para obtener la resistividad aparente; por tanto, el diseño final deberá recalcularse con los resultados de campo.

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{20/A}} \right) \right]$$

$$A = 22,5 \, m^2 ; L_T = 23,0 \, m ; h = 0,60 \, m$$

$$R_g \approx 48,29 \, \Omega \text{ para } \rho = 400 \, \Omega \cdot m$$

El anillo horizontal por sí solo presenta una resistencia estimada elevada en el escenario de $400 \, \Omega \cdot m$. La reducción del área efectiva de $96 \, m^2$ a $22,5 \, m^2$ y de la longitud de conductor horizontal de $92 \, m$ a 23

m penaliza el desempeño eléctrico. Los diez electrodos mejoran la dispersión, pero la interacción entre ellos limita la ganancia efectiva.

8. RESISTENCIA GLOBAL DEL SISTEMA

La resistencia global del sistema se calcula mediante la expresión:

$$R_{\text{global}} = R_g \parallel R_{10} = 1 / (1/48,29 + 1/20,04)$$

$$R_{\text{global}} \approx 14,16 \, \Omega$$

VERIFICACIÓN PRELIMINAR: $14,16 \, \Omega > 10,00 \, \Omega \rightarrow$ NO ALCANZA el valor de referencia de $10 \, \Omega$ para $\rho = 400 \, \Omega \cdot \text{m}$.

El resultado demuestra que la nueva geometría no debe liberarse para construcción suponiendo $\rho = 400 \, \Omega \cdot \text{m}$ si se pretende adoptar $10 \, \Omega$ como objetivo de diseño. Adicionalmente, RETIE establece que la resistencia es un valor de referencia y que el criterio fundamental de seguridad es el control de tensiones de paso, contacto y transferidas.

Análisis de alternativas y selección de la solución

Configuración	Área [m ²]	Electrodos	L conductor [m]	R global* [Ω]
Rev. A: 12×8 m / 5×4	96,0	12	92,0	9,23
Nueva: anillo 9×2,5 m	22,5	10	23,0	14,16
Nueva + $\rho=300 \, \Omega \cdot \text{m}$	22,5	10	23,0	10,62
Nueva + $\rho \approx 282,4 \, \Omega \cdot \text{m}$	22,5	10	23,0	$\approx 10,00$

*Valores calculados con la misma aproximación de la Rev. A para fines de comparación. La geometría $9,0 \times 2,5 \, \text{m}$ alcanza aproximadamente $10 \, \Omega$ sólo cuando la resistividad homogénea equivalente es del orden de $282 \, \Omega \cdot \text{m}$ o menor. Esta cifra es un resultado del modelo y no un umbral reglamentario del suelo.

Sensibilidad a la resistividad del terreno

$\rho \, [\Omega \cdot \text{m}]$	R anillo [Ω]	R 10 electrodos [Ω]	R global [Ω]	Estado vs 10 Ω
50.0	6.04	2.51	1.77	CUMPLE
100.0	12.07	5.01	3.54	CUMPLE
150.0	18.11	7.52	5.31	CUMPLE
200.0	24.15	10.02	7.08	CUMPLE
250.0	30.18	12.53	8.85	CUMPLE
275.0	33.20	13.78	9.74	CUMPLE

ρ [$\Omega \cdot m$]	R anillo [Ω]	R 10 electrodos [Ω]	R global [Ω]	Estado vs 10 Ω
280.0	33.80	14.03	9.91	CUMPLE
282.4	34.09	14.15	10.00	CUMPLE
300.0	36.22	15.03	10.62	NO CUMPLE
350.0	42.25	17.54	12.39	NO CUMPLE
400.0	48.29	20.04	14.16	NO CUMPLE

Nota: Para el modelo comparativo adoptado, la transición $R_{global} \approx 10 \Omega$ ocurre en $\rho \approx 282,4 \Omega \cdot m$. Este valor no constituye un límite RETIE. Si la resistividad medida es superior, deberán evaluarse alternativas como ampliación del área de dispersión, electrodos adicionales suficientemente separados, electrodos remotos/radiales, mejoramiento de suelo técnicamente controlado o una combinación de medidas, manteniendo en todos los casos la longitud máxima constructiva de 2,40 m por electrodo cuando esa restricción sea obligatoria.

Recomendaciones para optimización constructiva

- Ubicar el anillo fuera de la huella directa de tuberías y cimentaciones cuando sea posible, evitando interferencias y manteniendo acceso para inspección.
- Mantener el perímetro eléctricamente cerrado y continuo.
- Instalar los diez electrodos E1–E10 en los puntos definidos, evitando reducir el espaciamiento previsto sin recalculer la interacción.
- Conservar electrodos en las cuatro esquinas y coordinar los puntos próximos a bajantes del LPS.
- No aumentar indiscriminadamente el número de electrodos dentro de la misma huella: la eficiencia marginal disminuye al reducirse el espaciamiento.
- Conectar cada equipo mediante un ramal independiente a la malla.
- Utilizar soldadura exotérmica o conectores certificados para enterramiento.
- El PE debe conducir corrientes de falla y transitorias, no corriente normal de carga.
- Instalar DPS apropiados para 24 VDC en los puntos de entrada/salida y cerca de equipos sensibles cuando el análisis de sobretensiones lo requiera.
- Instalar DPS de señal para antena GPRS y comunicaciones según interfaz y fabricante.
- Mantener separación física entre bajantes de rayos y cables de 24 VDC/señal, o calcular la distancia de separación requerida.

9. SISTEMA DE APANTALLAMIENTO (PROTECCIÓN CONTRA CONTRARAYOS - LPS)

9.1 Filosofía

El RETIE vigente exige una evaluación de riesgo frente al rayo basada en NTC 4552-2 o IEC 62305-2, y que el diseño del sistema externo se base en metodologías como NTC 4552-3 o IEC 62305-3 y en el método electrogeométrico. Por ello, la selección definitiva del nivel de protección (LPL/NPR) no debe hacerse únicamente por criterio del diseñador.

9.2 Nivel de protección preliminar

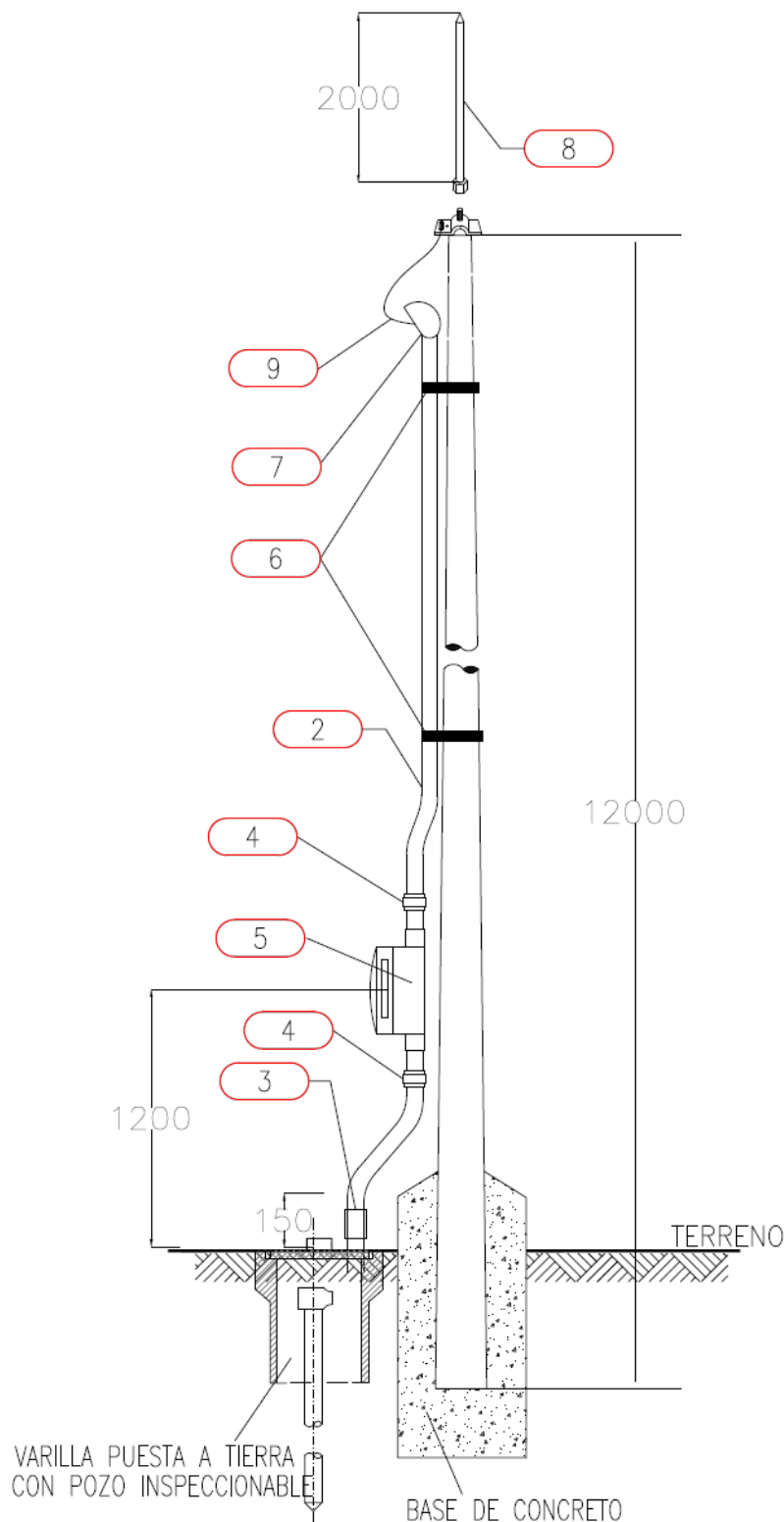
La clase o nivel de protección contra rayos no se fija de manera definitiva en esta memoria. Debe obtenerse a partir de la evaluación de riesgo conforme a NTC 4552-2 o IEC 62305-2. Para cálculos conceptuales puede conservarse LPL IV como hipótesis de ingeniería, sin que ello sustituya la evaluación formal. De hecho, bajo la normativa técnica vigente regulada por el **RETIE** (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) y basada específicamente en la norma **NTC 4552-3** (Protección contra descargas eléctricas atmosféricas), los valores máximos permitidos para el método de la esfera rodante según su nivel o clase son los siguientes:

Clase de LPS / Nivel de Protección	Radio de la Esfera Rodante (r_{sc})	Eficiencia de Interceptación
Nivel I	35 metros	Muy Alta ($\geq 98\%$)
Nivel II	40 metros	Alta (95% - 98%)
Nivel III	50 metros	Media (80% - 95%)
Nivel IV	55 metros	Estándar ($\leq 80\%$)

9.3 Captación

Para este caso de aplicación, las recomendaciones aplicables apuntan a utilizar terminales tipo Franklin y/o mástiles independientes para cubrir la estación sin convertir innecesariamente equipos de instrumentación en puntos de impacto. Los mástiles deben ubicarse en el perímetro y diseñarse mediante esfera rodante para cubrir válvulas, gabinetes, panel solar, antena y elementos sobresalientes. En zonas con peligro de explosión se debe estudiar la separación entre el LPS y los elementos metálicos del proceso para reducir la probabilidad de chispas peligrosas.

Típico de instalación.



ELEMENTOS:

1. POSTE DE CONCRETO DE 12m DE LONGITUD (ALTURA LIBRE POSTE DE CONCRETO DE 12m DE LONGITUD (ALTURA LIBRE DE 10m) CON CARGA DE ROTURA DE 750kgf (Autoportante).

2. TUBO CONDUIT IMC DIÁMETRO 1" DE LONGITUD 6m. TUBO CONDUIT IMC DIÁMETRO 1" DE LONGITUD 6m.

3. UNIÓN SIMPLE DE ACOPLE TIPO HEMBRA-HEMBRA CALIBRE UNIÓN SIMPLE DE ACOPLE TIPO HEMBRA-HEMBRA CALIBRE 34".

4. UNIÓN UNIVERSAL HEMBRA-MACHO CALIBRE ". UNIÓN UNIVERSAL HEMBRA-MACHO CALIBRE ". 34".

5. CAJA DE SOBREPONER 4x, TIPO PIE DE POSTE, EN ALUMINIO CAJA DE SOBREPONER 4x, TIPO PIE DE POSTE, EN ALUMINIO CON TAPA PLANA DIMENSIONES EXTERIORES 12x12x8" PARA INSPECCIÓN DE BAJANTE SIPRA.

6. CINTA BAND-IT EN ACERO INOXIDABLE CALIBRE ". CINTA BAND-IT EN ACERO INOXIDABLE CALIBRE ". 12".

7. TAPÓN EN HIERRO CON TERMINACIÓN GALVANIZADA, CON TAPÓN EN HIERRO CON TERMINACIÓN GALVANIZADA, CON ACOPLE TIPO HEMBRA, CALIBRE ". 34".

8. PUNTA CAPTADORA COBRE 16mm DE DIÁMETRO, 2m LARGO. PUNTA CAPTADORA COBRE 16mm DE DIÁMETRO, 2m LARGO.

9. CABLE Cu AWG, PARA BAJANTE DE PARARRAYO. CABLE Cu AWG, PARA BAJANTE DE PARARRAYO. 20

9.4 Bajantes

La cantidad, posición y separación de bajantes se definirá con el diseño LPS resultante del estudio de riesgo y la geometría real de captación. El RETIE exige varios caminos en paralelo para la corriente del rayo y, en áreas con peligro de explosión, establece la aplicación de bajantes aisladas. Las rutas serán rectilíneas, cortas y coordinadas con las áreas clasificadas y con los circuitos de señal/24 VDC.

En áreas clasificadas como peligrosas, la selección de terminales, bajantes, distancias de separación, equipotencialización y DPS deberá integrarse con IEC 60079-14, la clasificación de áreas del proyecto y el análisis específico del riesgo de ignición.

9.5 Puesta a tierra del LPS

La puesta a tierra de protección contra rayos se integrará al sistema general de puesta a tierra. El RETIE 2026 establece que esta puesta a tierra puede configurarse con electrodos horizontales, verticales o combinados, siguiendo el criterio de IEC 62305-3 y de acuerdo a lo estipulado en el manual de instalaciones eléctricas del cliente PMTD-2127.

10. VERIFICACIÓN DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

El RETIE 2026 establece que la resistencia de puesta a tierra debe medirse antes de la puesta en funcionamiento y permite métodos de IEEE 81, incluido caída de potencial. Para este método, el electrodo auxiliar de corriente debe ubicarse como mínimo a cinco veces la mayor dimensión del sistema y, en terreno uniforme, la posición del electrodo auxiliar de tensión al 61,8 % constituye la referencia de lectura.

- Medir el sistema completo con el anillo y los 10 electrodos E1–E10 conectados.
- Verificar continuidad de cada derivación.
- Registrar la ubicación de electrodos auxiliares y el procedimiento utilizado.
- Realizar lecturas en más de una posición para comprobar estabilidad.
- Conservar certificados de calibración del telurómetro.

Verificación de paso y contacto

Alcanzar 10 Ω o menos no constituye por sí solo demostración completa de seguridad. RETIE exige priorizar el control de tensiones de paso, contacto y transferidas. La obligatoriedad de mediciones específicas de paso/contacto dependerá de la clasificación de la instalación y de las condiciones

previstas en el artículo 3.12.4.3; en todo caso, el diseño deberá documentar la evaluación correspondiente cuando exista riesgo de exposición.

Conductores y materiales

Elemento	Especificación preliminar
Malla	Cobre desnudo 50 mm ² mínimo; anillo 9,0 × 2,5 m
Electrodos	10 × varilla 2,40 m; 5/8 in de referencia
Profundidad malla	≈0,60 m, sujeto a condiciones de obra
Uniones enterradas	Soldadura exotérmica o conector certificado para enterramiento directo
Cajas de inspección	10 mínimas, preferiblemente una por electrodo, más puntos de prueba requeridos
Barra equipotencial	Cu, dimensionada según conductores y corriente de falla
DPS 24 VDC	Según U_c , I_n/I_{max} y coordinación
DPS señal	Según interfaz y fabricante

11. CONCLUSIONES

Luego de la realización del prediseño del sistema de puesta a tierra y de protección LPS de la estación de gas, se pueden destacar las siguientes conclusiones:

- La nueva solución geométrica está compuesta por un anillo cerrado de 9,0 × 2,5 m, aproximadamente 23 m de conductor horizontal y 10 electrodos verticales de 2,40 m distribuidos en el perímetro.
- Con $\rho = 400 \Omega \cdot m$, el cálculo comparativo entrega $R_{global} \approx 14,16 \Omega$; por tanto, la configuración no alcanza el valor de referencia de 10 Ω bajo ese escenario.
- En el modelo preliminar, $R_{global} \approx 10 \Omega$ se obtiene alrededor de $\rho \approx 282,4 \Omega \cdot m$. Esta resistividad es una condición derivada del modelo y no un límite reglamentario.
- La restricción constructiva de 2,40 m por electrodo se mantiene y es compatible con la longitud mínima reglamentaria; sin embargo, la menor huella geométrica reduce la capacidad de dispersión respecto de la Rev. A.
- La separación longitudinal de 2,25 m y transversal de 2,50 m es cercana a la longitud del electrodo, por lo cual la interacción mutua es relevante y debe considerarse en el diseño final.

- La liberación para construcción exige medición Wenner, modelo de suelo, verificación de continuidad, cálculo de corrientes de falla/tiempos de despeje, evaluación de paso/contacto cuando aplique y medición final del SPT.
- La revisión normativa corrige expresamente el uso del término “límite RETIE de 10 Ω ”: RETIE lo maneja como valor de referencia y exige que la seguridad se sustente en tensiones de paso, contacto y transferidas, además de equipotencialidad, LPS, DPS y coordinación con protección catódica.

Resumen Numérico

Magnitud	Resultado
Área encerrada	22,5 m ²
Dimensiones	9,0 × 2,5 m
Configuración	Anillo perimetral cerrado
Longitud conductor horizontal	23,0 m
Profundidad	0,60 m
Electrodos	10
Longitud por electrodo	2,40 m
ρ de comparación	400 $\Omega \cdot m$
R anillo	48,29 Ω
R grupo de electrodos	20,04 Ω
R global	14,16 Ω
Referencia de diseño	10,00 Ω (no alcanzada a 400 $\Omega \cdot m$)
ρ de transición del modelo	$\approx 282,4 \Omega \cdot m$

12. REFERENCIAS CONSULTADAS

1. Ministerio de Minas y Energía de Colombia. Resolución 40284 del 23 de junio de 2026 — RETIE vigente. Libro 3, Título 12 (SPT) y Título 13 (protección contra rayos y sobretensiones). Consulta: 01-09-2026. [Fuente oficial](#)
2. Ministerio de Minas y Energía de Colombia. Resolución 40284 de 2026 — Libro 2, requisitos de producto para electrodos de puesta a tierra; longitud mínima de varilla/tubo 2,40 m y requisitos de recubrimiento. Consulta: 01-09-2026. [Fuente oficial](#)
3. Ministerio de Minas y Energía de Colombia. Portal oficial RETIE y trazabilidad normativa. Consulta: 01-09-2026. [Fuente oficial](#)
4. IEEE Standards Association. IEEE 81-2025 — Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System. Edición activa publicada en 2026. [Fuente oficial](#)
5. IEC. IEC 62305-2 e IEC 62305-3:2024 — Protection against lightning. Evaluación de riesgo y daño físico/vida. [Fuente oficial](#)
6. IEC. IEC 60079-14:2024 — Explosive atmospheres: Electrical installations design, selection and installation. [Fuente oficial](#)
7. ICONTEC. NTC 2050 — Código Eléctrico Colombiano, Segunda Actualización. [Fuente oficial](#)
8. ICONTEC. NTC 2206 — Electrodos de puesta a tierra y requisitos de producto aplicables. [Fuente oficial](#)

Condición de liberación para construcción

Este documento debe considerarse memoria de prediseño. Antes de emitir planos para construcción se deberán incorporar, como mínimo: (1) mediciones Wenner y modelo de resistividad del terreno; (2) plano topográfico y servicios enterrados; (3) clasificación de áreas; (4) corriente de falla y tiempo de despeje; (5) evaluación formal de riesgo frente al rayo; (6) coordinación con protección catódica; (7) cálculo de paso/contacto y potenciales transferidos cuando aplique; y (8) medición final de resistencia/impedancia del sistema. Si p de campo no permite lograr el objetivo de diseño con la geometría 9,0 × 2,5 m, deberá aprobarse una medida correctiva antes de construcción.

13. CONTROL DE CAMBIOS.

REVISIÓN	FECHA	EMITIDO PARA
Rev A.	14/08/2026	Revisión interna
Rev B.	04/09/2026	Revisión cliente

ANEXO I

Lista referencial de materiales estimados en la construcción del prediseño SPT y LPS

Nº	Descripción para RFQ	Cantidad
1	Varilla cobreada 5/8" × 2,40 m, $\geq 250 \mu\text{m}$ Cu, RETIE	10 und
2	Conector para varilla 5/8", Cu/bronce	10 und
3	Cable Cu desnudo 1/0 AWG $\approx 53,5 \text{ mm}^2$	40 m
4	Cable Cu desnudo 35–50 mm^2 para bonding	60 m
5	Cajas de inspección 400×400×300 mm	10 und
6	Barra equipotencial Cu	2 und
7	Soldadura exotérmica	40 cargas
8	Moldes exotérmicos	3 und
9	Mango/porta-molde	1 juego
10	Terminales Cu estañado	40 und
11	Conectores Cu-Cu/T	30 und
12	Puentes equipotenciales tubería	12 juegos
13	Abrazaderas para tubería	12 und
14	Mástil captador LPS	2 und preliminar
15	Punta captadora	2 und preliminar
16	Cable Cu bajantes LPS	50 m
17	Abrazaderas bajantes	20 und
18	Contador de descargas	2 und
19	DPS 24 VDC	2 und
20	DPS señales 24 VDC	10 und
21	DPS lazos analógicos	6 und
22	DPS GPRS/coaxial	2 und
23	Riel DIN	4 m
24	Borneras PE	20 und
25	Conductor PE aislado	50 m
26	Tornillería inox.	1 lote
27	Cinta anticorrosiva	5 rollos
28	Compuesto antioxidante	3–5 m^3
29	Material de relleno	$\approx 2 \text{ m}^3$
30	Grava/recebo	$\approx 3 \text{ m}^3$
31	Señalización SPT	1 lote
32	Placas de identificación E1–E10	10 und