

El rayo se ríe de las normas de los SPCR

Las normas ordenan el papel; el rayo responde a su física propia y caótica.

Introducción — El límite entre cumplir y comprender

Este artículo no cuestiona la necesidad ni la utilidad de las normas de SPCR (IEC 62305, UNE 21186, etc.).

Cuestiona su uso como sustituto del análisis físico real del fenómeno del rayo y su aplicación automática en entornos cada vez más complejos.



El “engaño” al que se hace referencia no es una falsedad deliberada, sino una **simplificación estructural**: la reducción de un fenómeno estocástico, electromagnético y transitorio a un problema geométrico y estático, más fácil de normativizar... y de comercializar.

CAPA 1 — El rayo no es geométrico: es estocástico y eléctrico

El método normativo de la esfera rodante permite estimar las probabilidades de impactos, pero introduce una simplificación crítica: trata el rayo como una trayectoria predecible.

En la realidad:

- el trazador descendente evoluciona en función del campo eléctrico atmosférico local,
- la carga espacial varía en microsegundos,
- el punto final de impacto no es determinista, es decir que la ciencia solo puede ofrecerte **probabilidades**, nunca certezas absolutas.

La norma no falla al calcular.

Falla cuando se interpreta como **certeza física**.

CAPA 2 — El impacto del rayo, no solo es daño directo: el verdadero problema es la inducción que genera

La mayoría de los daños asociados al rayo no se producen por el impacto directo, sino por el **acoplamiento electromagnético** asociado.

Datos físicos esenciales:

- dI/dt típico: 10–200 kA/ μ s
- tiempo de frente: 1–5 μ s
- espectro dominante: ≈ 300 kHz (energía crítica < 100 kHz)

Un edificio con SPCR se comporta como un **sistema electromagnético completo**:

- la bajante actúa como primario,
- las canalizaciones internas como secundarios.

El edificio puede no arder,
pero los equipos tecnológicos pueden quedar destruidos silenciosamente.

CAPA 3 — Tierra de un SPCR es “correcta” en 50 Hz, pero inadecuada para un rayo

Las normas de SPCR establecen valores objetivo de resistencia de puesta a tierra, generalmente verificadas en corriente continua o a 50 Hz. Este enfoque es válido para sistemas eléctricos convencionales, pero resulta insuficiente para describir el comportamiento real de una descarga de rayo con su caótica frecuencia.

El rayo no trabaja en régimen permanente. Trabaja como un fenómeno transitorio de alta energía, donde la oposición al paso de la corriente no la determina la resistencia, sino la **impedancia total del trayecto del bajante desde el captador a la toma de tierra**.

1 Resistencia no es impedancia

Durante el frente del rayo (microsegundos), dominan:

- la inductancia del recorrido,
- la geometría del conductor,
- las proximidades a otras masas,
- y los gradientes de potencial en el terreno.

Un electrodo que presenta pocos ohmios a 50 Hz puede comportarse como una barrera eléctrica frente a un rayo si el camino hasta él es largo, inductivo o mal distribuido.

La tierra “certificada” no es necesariamente la tierra “efectiva”.

2 la distancia a la toma de tierra: el gran ausente normativo

En la práctica, no es raro encontrar:

- tomas de tierra a 25 o incluso a más de 50 metros del punto de bajada,
- motivadas por “mejor terreno” o por condicionantes constructivos.

Ese tramo intermedio:

- deja de ser un simple conductor,
- se comporta como una línea inductiva,
- eleva el potencial de la bajante,
- incrementa el riesgo de saltos laterales de chispas, acoplamientos e inducciones.

La instalación pasa a operar como un sistema de **muy alta tensión transitoria** dentro de su propio perímetro, sin que se apliquen criterios equivalentes de aislamiento o segregación.

3 dos bajantes no garantizan reparto

Dos caminos no implican reparto automático.

El rayo no reparte corriente por simetría teórica, sino por **impedancia instantánea**.

Sin una red de tierras adecuada y equipotencial, una bajante puede conducir la mayor parte de la descarga, mientras la otra queda infrautilizada.

4 La prioridad real: red y equipotencialidad con sus secciones adecuadas.

Una puesta a tierra eficaz para rayo debe:

- minimizar inductancias,
- reducir gradientes de potencial,
- favorecer el reparto de corriente,
- mantener la equipotencialidad del emplazamiento.

Anillos perimetrales, mallas, múltiples puntos de inyección y recorridos cortos y distribuidos suelen ser más eficaces que una “tierra perfecta” situada lejos del punto de descarga.

La norma mide ohmios.

El rayo mide tiempo, geometría e impedancia.

Y cuando la tierra está lejos, la instalación deja de ser baja tensión administrativa y pasa a comportarse como alta tensión transitoria.

CAPA 4 — PDC / ESE: La controversia técnica no resuelta

Los pararrayos con dispositivo de cebado afirman mayor radio de protección basándose en adelantos temporales medidos en laboratorio.

El problema no es ideológico, es físico:

- la atmósfera real no es homogénea,
- el campo preexistente es variable,
- no existe validación estadística independiente a gran escala.

En condiciones reales, su comportamiento no difiere significativamente de una punta Franklin equivalente.

Cuando capturan una descarga, se comportan igual que las puntas Franklin... con una diferencia crítica: su sistema de cebado se autodestruye en niveles altos de protección.

CAPA 5 — La paradoja del Nivel I: más protección pero más eventos capturados.

Los sistemas de protección de Nivel I:

- reducen incendios,
- protegen personas,
- cumplen normativa.

Pero también:

- ionizan el aire,
- incrementan la probabilidad local de impacto (98 %),
- aumentan la exposición a sobretensiones inducidas propias y en instalaciones vecinas.

La norma protege la estructura.

No garantiza la supervivencia funcional del entorno y vecinos.

CAPA 6 — Multicaptadores, esfera rodante y la ilusión del reparto del riesgo

El método de la esfera rodante permite definir volúmenes de protección y justificar múltiples captadores (Puntas Franklin).

Sin embargo, su interpretación literal conduce a una confusión frecuente: asumir que cada captador “captura una parte proporcional del riesgo”.

1 El error del reparto estadístico

La probabilidad de impacto no se reparte por cuotas.

Un sistema con varios captadores:

- no multiplica la probabilidad de captación,
- no asigna porcentajes de rayo por elemento,
- no garantiza equilibrio dinámico.

Lo que cambia es la geometría del campo y la complejidad electromagnética del conjunto.

2 Más captadores = más exigencia

La multiplicación de captadores solo es coherente si va acompañada de:

- bien distribuidas,
- tierras equipotenciales,
- control de impedancias,
- gestión real del reparto de corriente.

De lo contrario, el sistema introduce trayectorias preferentes no previstas y tensiones diferenciales internas.

3 El vacío normativo

La norma define geometría,
pero no jerarquiza el comportamiento dinámico del sistema completo.

La decisión sobre qué se prioriza —captación, reparto, protección funcional o reducción del estrés electromagnético— queda fuera del texto normativo y recae lamentablemente en el **criterio técnico del diseñador**.

CAPA 7 — Cumplimiento normativo y responsabilidad adquirida

Aplicar una norma no transfiere automáticamente la responsabilidad.
La desplaza.

Cuando una instalación cumple formalmente, pero ignora acoplamientos reales, proximidades críticas y uso del espacio, la responsabilidad técnica no desaparece: se transforma en responsabilidad adquirida.

Cumplir no siempre equivale a proteger del rayo.

CAPA 8 — Efectos colaterales ignorados: ozono, ionización y entorno

La ionización asociada a captadores y bajantes genera ozono troposférico, con impacto en:

- salud humana,
- vegetación,
- ecosistemas industriales.

Este fenómeno, ampliamente estudiado en líneas de alta tensión, rara vez se evalúa en SPCR, pese a compartir mecanismos físicos similares.

CAPA 9 — Donde termina la norma y empieza el criterio experto

La norma es una base.

No es un sustituto del análisis.

La auditoría técnica:

- no critica ni juzga,
- estudia el fallo o el accidente,
- analiza campo eléctrico, impedancias transitorias y entorno,
- y trabaja con el afectado desde la confidencialidad.

No se trata de atraer el rayo.

Se trata de saber **capearlo**.

CAPA 10 — Cuando la norma no describe la física, pero permite gestionar el sistema

Las normas de protección contra el rayo no nacen para describir con precisión el comportamiento físico del fenómeno.

Nacen para **hacerlo gestionable** dentro de un marco técnico, jurídico y económico.

Para la ingeniería industrial, los organismos reguladores y las aseguradoras, una teoría imperfecta pero estandarizada resulta preferible a la incertidumbre total. La norma ofrece un lenguaje común que permite comparar soluciones, asignar responsabilidades, dimensionar conductores, certificar productos y asegurar activos bajo criterios reproducibles.

Desde este punto de vista, la simplificación no es un error accidental, sino una **herramienta administrativa consciente**.

La norma acepta, e incluso necesita, reducir un fenómeno estocástico, transitorio y electromagnético a modelos geométricos y estáticos. No porque sean físicamente completos, sino porque permiten operar el sistema: proyectar, construir, certificar y asegurar.

El problema surge cuando esta simplificación se interpreta como una descripción fiel del comportamiento real del rayo y se aplica sin análisis crítico en entornos complejos, densamente electrificados o con riesgos añadidos. En ese punto, la norma deja de ser una ayuda y se convierte en un límite.

La protección frente al rayo no fracasa por cumplir la norma, sino por **confundir cumplimiento con comprensión**.

Y es precisamente ahí donde el criterio experto, la auditoría técnica y el análisis físico del entorno dejan de ser opcionales y se vuelven imprescindibles.

Conclusión — Orden administrativo y caos físico

Las normas ordenan el papel.

El rayo responde a una física propia y caótica.

El futuro del SPCR no es abandonar la norma,
sino superarla con criterio, integrando:

- física real,
- análisis electromagnético,
- protección de personas,
- impacto ambiental,
- y responsabilidad técnica consciente.

Porque el rayo no rompe normas.

Rompe simplificaciones.

Ángel Rodríguez y Roberto Leal.

Investigación aplicada · Protección frente al rayo · Microclima eléctrico

Auditor / Divulgador técnico, Protección contra el rayo · Seguridad eléctrica

En diálogo abierto con **AITA**, inteligencia artificial técnica y colaborativa