

Los sistemas de protección contra rayos (SPCR) en la normativa técnica argentina e internacional: el método de la “esfera rodante”

Una presentación de los SPCR y del método de la esfera rodante para estudiar y poder aplicarlo a los sistemas de protección contra los rayos según las normas argentinas e internacionales

Por Ing. Juan Carlos Arcioni, IRAM, e Ing. Jorge Francisco Giménez, CITEDEF

1. Introducción

1.1 Términos y sus definiciones para la introducción de nuestra nota técnica

A continuación presentamos las definiciones que proponemos para los cuatro términos siguientes:

1.1.1 Sistema [4]:

1.1.1.1 Sistema inmaterial (no material), con cinco ejemplos [4].

Definición: conjunto de reglas o de principios sobre una materia, racionalmente enlazados entre sí. (Nota: Materia: tema, asunto, cuestión.) Ejemplos:

- Sistema acusatorio (en derecho).
- Sistema inquisitivo (en derecho).
- Sistema métrico decimal (en la ciencia y la técnica).

- Sistema de numeración (en matemática).
- Sistema lingüístico (fonológico, gramatical y léxico).

1.1.1.2 Sistema material, con siete ejemplos:

Definición: conjunto de cosas ordenadamente relacionadas entre sí que contribuyen a un determinado objeto. Ejemplos:

- Sistema periódico (de elementos químicos).
- Sistema nervioso (de la anatomía).
- Sistema métrico decimal (de pesas y medidas de la metrología).
- Sistema planetario (de la astronomía).
- Sistema solar (de la astronomía).

- Sistema cristalográfico (de la física y de la mineralogía).
- SPCR -sistema de protección contra rayos- (de la ingeniería eléctrica y electrónica).

1.1.2 Modelo [4]

Definición: esquema teórico (generalmente de forma matemática) de un sistema o de una realidad compleja (por ejemplo, la evolución económica de un país) que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento

1.1.3 Método [3]:

1.1.3.1 Definición: *método* es una palabra compuesta por otros dos del griego: *meta*, que significa **término, fin, extremo, objeto final**, y *odos*, que significa **vía o**

camino. Así, fácilmente se entiende que *método* debe significar la **vía o camino que conduce a un fin determinado**, o por extensión, **el modo o medio de realizar un propósito**.

1.1.3.2 Comentario: esta definición presenta un problema de lógica: determinar los medios se-

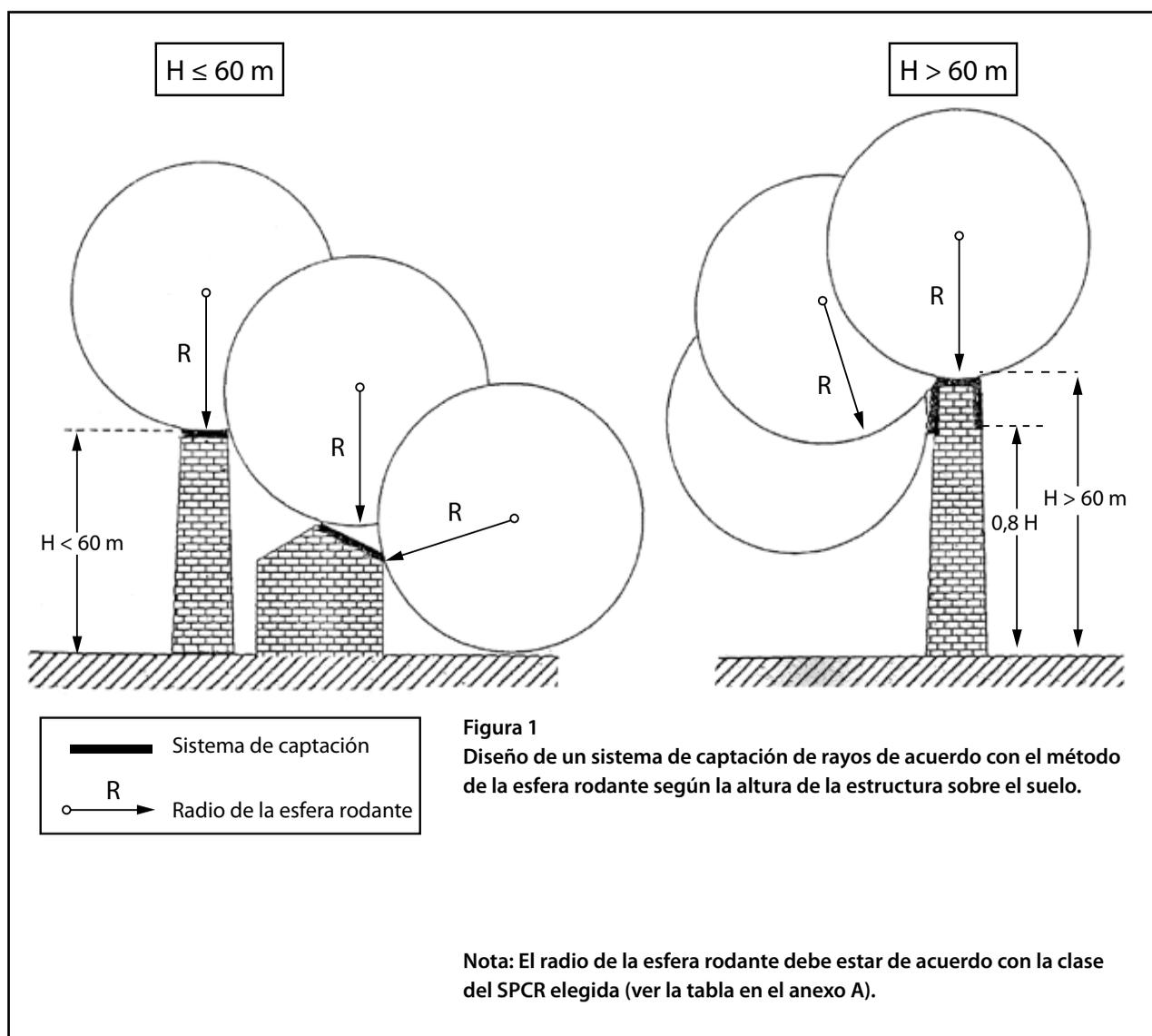
gún el conocimiento que se tenga del fin. Para adoptar un camino es indispensable concebir el punto final al cual se dirige.

1.1.3.3 Reseña histórica: en el Anexo B damos una reseña del método científico que se inicia con Galileo y se perfecciona con Newton.

1.1.4 Procedimiento [4]

Definición: es un método de ejecutar algunas cosas conforme a una práctica o conveniencia. (Nota: **sinónimos de método**; modo, forma, manera, sistema, regla, plan.)

Hemos tomado las definiciones del *Diccionario de la Real*



Nota técnica

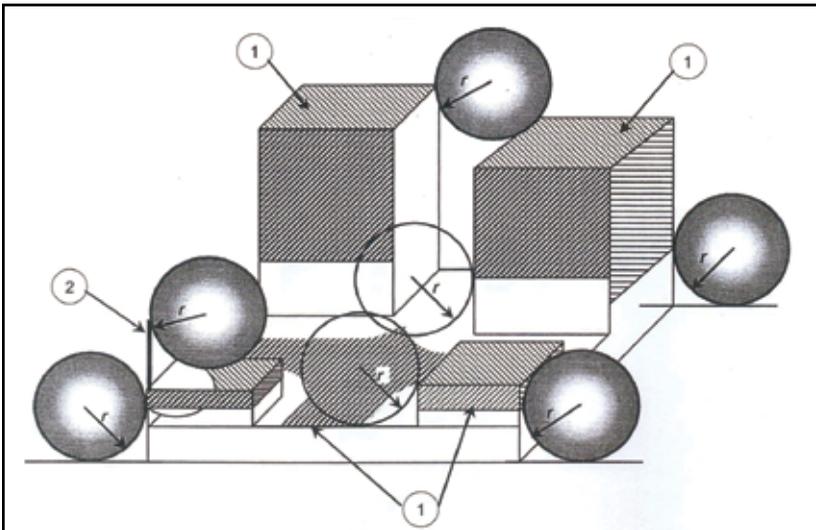


Figura 2
Diseño de una red de dispositivos de captación de un SPCR en una red con forma compleja.

Referencias:

1. Las zonas sombreadas están expuestas a los impactos de los rayos y necesitan protección según la tabla A1.

2. Mástil de la estructura.

R. Radio de la esfera rodante según la tabla 2.

Nota: Se requiere protección contra las descargas de rayos laterales de acuerdo con el apartado 5.2.3 y el capítulo A.2 de [1].

Academia Española [4] y del autor Rodolfo Rivarola [3], con comentarios, notas y ejemplos de aplicación donde corresponda.

2. Aplicación del método de la esfera rodante según IEC 62305-3 [1]

El método de la esfera rodante se debe emplear para identificar el espacio protegido o partes expuestas y zonas de una estructura cuando se excluye el empleo del

método del ángulo de protección según la tabla A1, reproducida en el anexo A.

Aplicando este método, el posicionamiento de un sistema de captación es adecuado si ningún punto del volumen a proteger está en contacto con una esfera de radio rodando sobre el suelo, alrededor y en la parte superior de la estructura en todas las direcciones posibles. Por lo tanto, la esfera solo debe tocar la tierra y/o el

sistema de captación, tal como se ilustra en la figura 5 [2].

El radio R de la esfera rodante depende de la clase del SPCR (ver la tabla A1). El radio de la esfera rodante está correlacionado con el valor I de cresta (o pico) de la corriente del rayo que impacta en la estructura: $R = 10 I^{0.65}$, donde I se expresa en kA_c (kA de cresta).

La figura 2 muestra la aplicación del método de la esfera rodante en diferentes estructuras. La esfera de radio r rueda alrededor y sobre la estructura hasta que encuentra el plano de tierra o un objeto en contacto con el plano de tierra, que es capaz de actuar como conductor del rayo. Un impacto se podría producir donde la esfera toque a la estructura, entonces en estos puntos se requiere colocar sistemas de captación (o bien tolerar a los rayos).

Cuando se aplica el método de la esfera rodante sobre los planos de la estructura, se deben considerar todas las direcciones para asegurar que en una zona no protegida no haya ninguna saliente (un punto que se podría pasar por alto si solo se consideran las vistas frontales o laterales de los planos).

La zona protegida contra los rayos por un captador de SPCR es el volumen no penetrado por la

esfera rodante cuando ella está en contacto con el captador y aplicada a la estructura.

La figura 3 muestra la protección dada por los dispositivos de captación de un SPCR según el método de la malla, el método de la esfera rodante y el método del ángulo con una disposición general de los elementos de captación.

3. Procedimiento para la colocación del sistema de captación de rayos en una estructura mediante el método de la esfera rodante

Aplicando este método, la colocación del sistema de captación es adecuada si, en función de la clase del SPCR, ningún punto de la estructura protegida está en

contacto con una esfera de radio, que rueda alrededor y en la parte superior de la estructura en todas las direcciones posibles. De esta manera, la esfera solamente toca el sistema de captación (ver la figura 1, izquierda y derecha).

En todas las estructuras cuya altura sea mayor que el radio de la esfera rodante, se pueden producir descargas laterales. Cada punto lateral de la estructura tocado por la esfera rodante es un posible punto de impacto. Sin embargo, las probabilidades de descargas laterales de rayos a tierra son generalmente despreciables en estructuras con alturas inferiores a 60 metros.

En estructuras más altas, la mayor parte de las descargas alcanzará la parte superior, los bordes horizontales y las esquinas de la estructura. Solamente un pequeño porcentaje de las descargas se produce lateralmente.

Además, los datos de observación muestran que la probabilidad de descargas laterales decrece rápidamente con la altura media desde el suelo. Por tanto, se debe considerar instalar sistemas de captación laterales en la parte superior de las estructuras (normalmente, el 20% superior de la altura de la estructura). En este caso, el método de la esfera rodante se

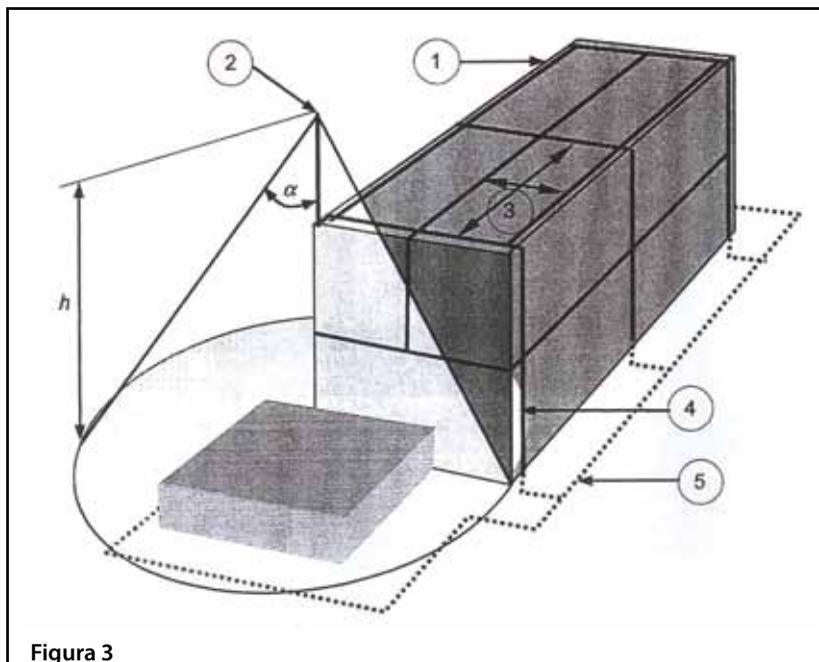


Figura 3

Diseño de un sistema de captación de un SPCR de acuerdo con el método del ángulo de protección, con el método de la malla y disposición general de los dispositivos de captación [1].

Nota: El método de la esfera rodante se verifica para el radio $R > h$.

Referencias:

1. Conductor horizontal de captación.
 2. Punta de captación.
 3. Tamaño de la malla.
 4. Conductor de bajada.
 5. Sistema de puesta a tierra con anillo conductor exterior.
- h.** Altura del terminal de captación sobre el plano de referencia (punta 2).
 α . Ángulo de protección de la punta 2.

Nota técnica

debe emplear solamente para posicionar el sistema de captación en la parte superior de la estructura (figura 1, derecha).

4. Distancia de penetración de la esfera rodante [1]

En el caso de un sistema de captación formado por dos conductores horizontales colocados por encima del plano horizontal de referencia, como se indica en la figura 4, la distancia de penetración p de la esfera rodante, en el espacio entre dos conductores y por debajo del nivel de los conductores, puede calcularse con la ecuación 1 siguiente:

$$(1) p = R - \sqrt{[R^2 - (d/2)^2]}$$

La distancia de penetración p debe ser menor que la menor de las alturas h_i de los objetos a proteger (el motor en la figura 4).

El ejemplo de la figura 4 también es válido para tres o cuatro puntas captadoras (por ejemplo, cuatro puntas de la misma altura h colocadas en las esquinas de un cuadrado; en este caso, d , en la figura 4 corresponde a la diagonal del cuadrado formado por cuatro puntas).

Posiciones críticas de la esfera rodante [2]

Cuando la esfera rodante

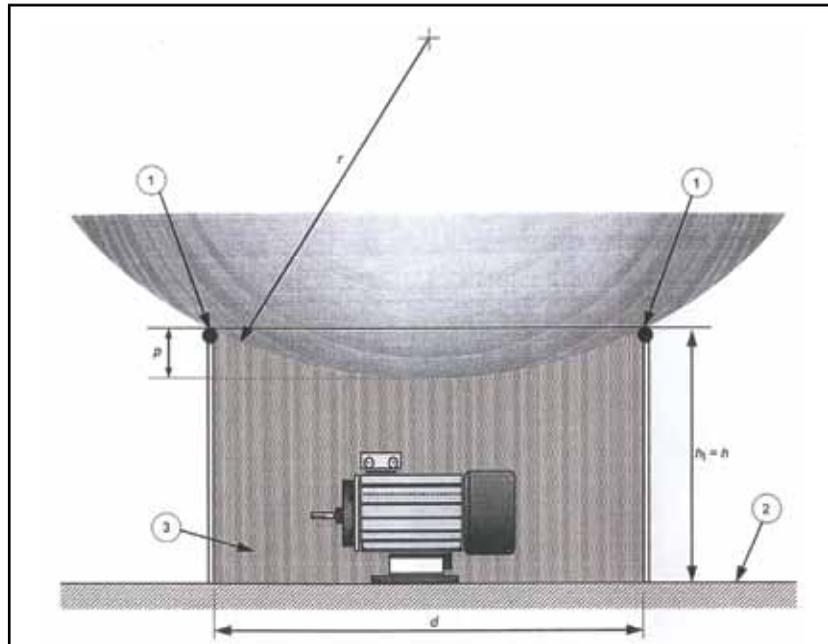


Figura 4
Espacio protegido por un sistema de captación formado por dos cables horizontales paralelos o por dos puntas ($R > h_i$).

Referencias:

1. Cables horizontales.
 2. Plano de referencia.
 3. Espacio protegido por un sistema de captación formado por dos cables horizontales paralelos o por dos o más puntas franklin.
- h_i . Altura física de las puntas de captación sobre el plano de referencia.
 p . Distancia de penetración de la esfera rodante.
 h . Altura del sistema de captación según la tabla 2.
 R . Radio de la esfera rodante
 d . Distancia de separación entre los dos cables horizontales (o las dos puntas de captación).

Nota: La distancia de penetración p de la esfera rodante debe ser menor que la menor de las alturas h_i de los objetos a proteger, con el fin de proteger los objetos en el espacio entre ambos captadores (cables o puntas).

"toca", es decir, hace contacto geométrico, al sistema de captadores y/o la tierra (plano de tierra), pueden ocurrir las cinco posiciones críticas siguientes:

a) La esfera rueda sobre la tierra cuando se mueve a lo largo de los conductores del sistema de captadores (figura 6 a).

b) La esfera rueda sobre la tierra

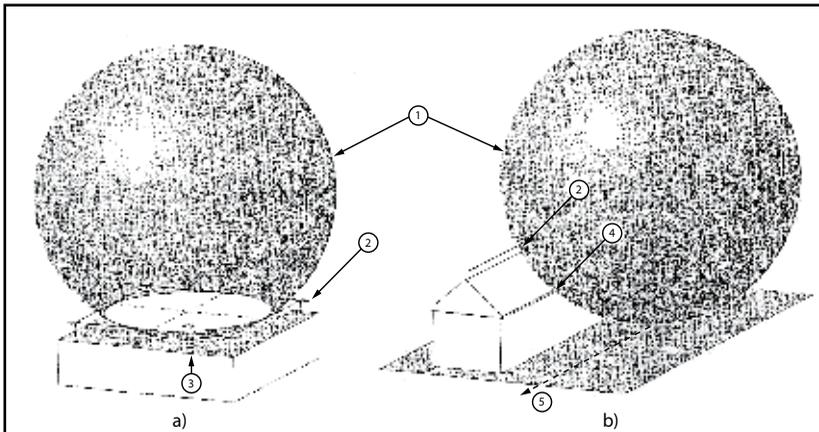


Figura 5
Contactos geométricos de la esfera rodante con la estructura a proteger contra los rayos [2]. a) Contacto en un punto. b) Contacto a lo largo de una línea.

Referencias:

1. Esfera rodante.
2. Sistema captador de rayos del SPCR.
3. Contacto en un punto.
4. Contacto en una línea.
5. Dirección de rotación de la esfera (rodadura).

y rota alrededor de la punta de una punta captora vertical o la esquina (vértice) de un conductor captor horizontal (figura 6 a y b).

c) La esfera hace contacto (toca) simultáneamente con la tierra y con un SPCR en dos o más puntos (figura 6 c).

d) La esfera hace contacto simultáneamente en tres o más puntos de un SPCR cuando ella no puede rotar más sin moverse hacia arriba (figura 6 d).

e) La esfera rota a lo largo de dos conductores horizontales paralelos mientras está continuamente en contacto con ellos (figura 6 e) ■

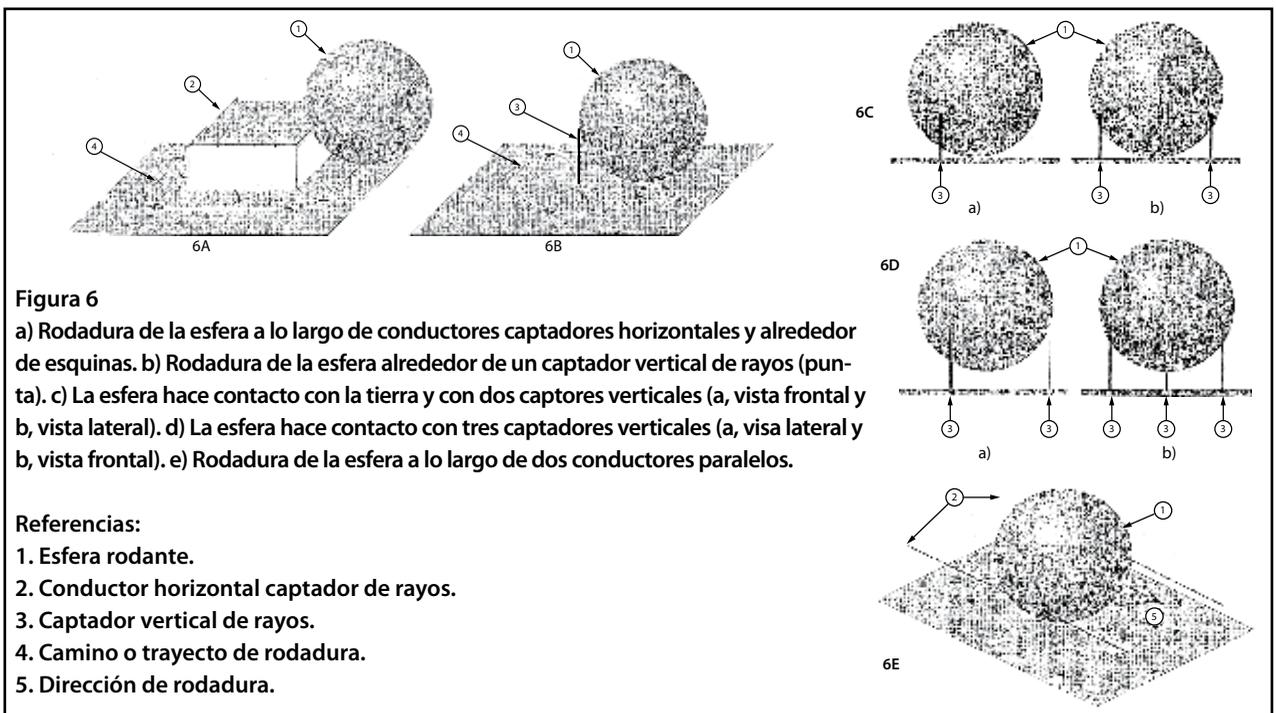


Figura 6
a) Rodadura de la esfera a lo largo de conductores captadores horizontales y alrededor de esquinas. b) Rodadura de la esfera alrededor de un captador vertical de rayos (punta). c) La esfera hace contacto con la tierra y con dos captores verticales (a, vista frontal y b, vista lateral). d) La esfera hace contacto con tres captadores verticales (a, vista lateral y b, vista frontal). e) Rodadura de la esfera a lo largo de dos conductores paralelos.

Referencias:

1. Esfera rodante.
2. Conductor horizontal captador de rayos.
3. Captador vertical de rayos.
4. Camino o trayecto de rodadura.
5. Dirección de rodadura.

Nota técnica

Bibliografía consultada

- [1] IRAM y AEA (documento en estudio). "Norma IRAM 2184-3 / Reglamentación AEA 92305-3 (IEC 62305-3:2010). Protección contra los rayos. Parte 3: Daños físicos a estructuras y riesgo humano." Buenos Aires, Argentina, 2012.
- [2] Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). Comité técnico 81: Protección de ilu-

- minación. IEC 62305-3 *Protection against lightning. Part 3: Physical damage to structures and life hazard. Document 81/455/DC (2013-11-08) – Draft for comments (until 2014-03-14) for IEC members.*
- [3] Rivarola, Rodolfo. *Filosofía dispersa y amable (para educadores y educandos.* Buenos Aires, Roldán, 1934.
- [4] Real Academia Española, *Diccionario de*

la lengua española, Madrid, Ediciones XXI, 1992.

- [5] Corcho Orrit, Roger: "Galileo: El método científico, la naturaleza se escribe con fórmulas". Buenos Aires, RBA Coleccionables SA, 2014.
- [6] Durán Guardado, Antonio J. : "Newton: La Ley de Gravedad, la fuerza más atractiva del Universo. Buenos Aires, RBA Coleccionables, 2014.

Anexo A

Tabla A1. Posicionamiento de captadores de rayos según los niveles de protección contra rayos NPR (definidos en las normas IEC 62305 e IRAM 2184/AEA 92305), y sus tres métodos de protección normalizados.

Nivel de protección NPR (clase del SPCR)	Mínima corriente presunta del rayo de retorno (kAc de cresta)	Eficiencia de la protección	Método de la esfera rodante: radio de la esfera, R	Método de ángulo de protección para las alturas de los captadores indicados. Ángulo α				Método de las mallas: distancia máxima entre conductores paralelos
				20 m	30 m	45 m	60 m	
I	3 kAc	99%	20 m	25°	*	*	*	5 m
II	8 kAc	97%	30 m	35°	25°	*	*	10 m
III	10 kAc	91%	45 m	45°	35°	25°	*	15 m
IV	16 kAc	84%	60 m	55°	45°	35°	25°	20 m

Fuente: Cooray, Vernon. *Lightning protection*. (Libro editado por el autor en el Reino Unido.) Versión argentina de la tabla 4.1, a cargo de Juan Carlos Arcioni.

Anexo B

Reseña del método científico desde Galileo, y pasando por Newton

B.1 El método científico [5]

Desde Galileo (1564 – 1642) en adelante, hasta la actualidad, el método de la ciencia consiste en lo siguiente:

- Proponer hipótesis, formuladas matemáticamente, que describan un aspecto de la realidad.
- Deducir consecuencias empíricas y comprobables experimentalmente.

• Aislar (separar) los factores que intervengan en la realidad para crear una situación artificial, y así comprobar dichas hipótesis mediante experimentos, haciendo uso de instrumentos de medición de precisión y exactitud que sean capaces de determinar si concuerdan la predicción matemática y el experimento.

El método científico se conoce como "Método hipotético-deductivo", y Galileo fue quien contribuyó a su desarrollo en todas sus fases.

B.2 El método newtoniano [6]: el método científico moderno

Según Newton (1642-1727), la esencia del método científico moderno es la elaboración de modelos matemáticos simples que se comparan con los fenómenos naturales. De estas comparaciones surgen nuevas versiones, más complicadas, de los modelos previos.

Con Newton, la matemática se convirtió verdaderamente en la esencia de la teoría física.