

SISTEMA DE PROTECCIÓN PARA ESTRUCTURA DE FERROCONCRETO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS ELÉCTRICAS

RESUMEN

Este artículo muestra la necesidad de evaluar el riesgo de la incidencia de las descargas atmosféricas sobre estructuras de concreto en las que se pueden presentar explosiones o implosiones. Es importante visualizar el riesgo al que se encuentran las estructuras conformadas por armazones de hierro con recubrimiento de cemento cuando una descarga atmosférica eléctrica recorre dichas estructuras en busca de un camino hacia tierra.

PALABRAS CLAVES: Equipotencialización, sistema de protección contra rayos.

ABSTRACT

This article shows the need of evaluating the risk of the incidence of the atmospheric unloadings on structures of concrete in which explosions or implosions can be presented. It is important to visualize the risk to which are the structures conformed by iron frames with cement covering when an electrical atmospheric unloading crosses these structures looking for a towards earth.

KEYWORDS: *Ligthing Protection System (LPS),*

1. INTRODUCCIÓN

Las descargas atmosféricas eléctricas a través de los rayos ganan importancia en el contexto del diseño integral de las instalaciones, puesto que son las causantes de muchas de las fallas que en cualquier tipo de edificación se pueden presentar, entre las más importantes están:

- Deterioro del sistema eléctrico.
- Deterioro estructural de la edificación.
- Deterioro del sistema de comunicaciones (Redes par alámbrico).

Si bien se mencionan las fallas en los elementos que hacen parte de una edificación cuando esta se utiliza para cualquier tipo de actividad, uno de los factores más relevantes que debe sopesar cualquier diseño integral de la edificación, es el grado de seguridad para las personas que interactúan con los elementos mencionados del sistema.

Entre los aportes fundamentales de este artículo, se encuentra el proporcionar una metodología que le permita al Ingeniero Civil, establecer pautas para que estructuralmente la edificación integre en su diseño la normatividad del sector eléctrico.

2. ANTECEDENTES

La parte estructural de una edificación siempre se considera una competencia del ingeniero calculista a cargo del diseño del proyecto, por tanto dicha estructura

JORGE HUMBERTO SANZ ALZATE

Profesor Asociado
Universidad Tecnológica de Pereira
Programa Tecnología Eléctrica
jsanz@utp.edu.co

RICARDO HENAO GIRALDO

Profesor Auxiliar
Universidad Tecnológica de Pereira
Programa Tecnología Eléctrica
rhenao@utp.edu.co

CARLOS ALBERTO RIOS PORRAS

Profesor Auxiliar
Universidad Tecnológica de Pereira
Programa Tecnología Eléctrica
alpor@utp.edu.co

Grupo de Sistemas de puesta a tierra.

esta concebida teniendo en cuenta los normas de sismo resistencia, y demás factores que establecen el tipo de estructura a utilizar, pero no la normatividad para la protección contra daños físicos por descargas eléctricas atmosféricas.

Se pretende mostrar las bases normativas para el diseño de un sistema contra rayos que se debe integrar como parte del trabajo a desarrollar por el ingeniero calculista en el diseño de un proyecto.

Un sistema de protección contra rayos establece una verdadera medida de prevención contra daños físicos de estructuras y a seres vivos. El cual se concibe en dos partes: Un sistema externo y un sistema interno.

El sistema externo de protección contra rayos pretende:

1. Interceptar rayos que intenten llegar directamente a la estructura (Sistemas terminales aéreos).
2. Conducir la corriente del rayo hacia la tierra de forma segura (Sistemas de conductores).
3. Dispersar la corriente del rayo en la tierra (Sistemas Terminales en tierra).

El sistema interno de protección contra rayos pretende:

1. Prevenir chispas peligrosas dentro de la estructura usando equipotencialización de los equipos o estableciendo una distancia entre los elementos del sistema de protección externo y los elementos conductores internos de la estructura.

2. Reducir la ocurrencia de voltaje de paso y de contacto, por restricciones físicas y/o por avisos de prevención.

3. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

3.1 Sistema de protección contra rayos [1].

El Sistema de protección contra rayos (LPS-Lighting Protection System) es un sistema completo utilizado para reducir los daños físicos sobre estructuras debido a los rayos. Cuatro clases de LPS se definen de acuerdo con el nivel de protección contra rayos que se determine.

Cada clase de LPS depende:

a. Datos que influyen sobre la clase de LPS:

1. Parámetro del rayo.
2. Radio de la esfera rodante,
3. Distancia de separación para evitar chispas peligrosas.
4. Longitud mínima de los electrodos de tierra.
5. Distancia típica entre bajantes y los anillos conductores alrededor de la estructura que unifica los bajantes.

b. Datos que no influyen sobre la clase de LPS:

1. Dimensiones mínimas de conductores de conexión.
2. Material, configuración y dimensiones mínimas de los terminales de captación, de anillos conductores y de electrodos de puesta a tierra.
3. Materiales del LPS, y condiciones de uso.
4. Conexión equipotencial para descargas eléctricas (rayos).
5. Mínimo grosor de hojas de acero o tubos de sistemas de los terminales de captación.

3.2 Diseño de un sistema de protección contra rayos (LPS)

Un diseño óptimo se puede especificar técnica y económicamente, cuando los pasos del diseño y la construcción del LPS se coordinan con los pasos que se establecen en el diseño y construcción de la estructura a proteger. En particular cuando el diseño de las partes metálicas de la estructura se podrán utilizar como una parte del LPS.

Una apropiada consulta entre los diseñadores de los LPS, los instaladores, los arquitectos y los constructores es esencial para alcanzar el mejor resultado a un costo mínimo.

La IEC 62305 (Internacional Electrotechnical Commission) es una de las normas que permite establecer las pautas para el diseño de un sistema de protección contra rayos.

El propósito general en la construcción de un LPS para una estructura siempre será sopesado por las medidas

adoptadas en otras normas, que permite obtener el mismo nivel de protección para efectos de reducir costos.

El diseñador e instalador de un LPS deberá ser capaz de determinar los efectos tanto mecánicos como eléctricos de la descarga de un rayo y debe estar familiarizado con los principios generales de la compatibilidad electromagnética (EMC). Además, el diseñador de la protección contra rayos debe ser capaz de determinar los efectos de la corrosión y las uniones.

3.2.1 Planificación

Antes de entrar en detalle sobre el trabajo del diseño del LPS es conveniente hacer un diseño razonablemente práctico, obteniendo información básica en cuanto a la función, diseño general, construcción y localización de la estructura.

Cuando el LPS no ha sido especificado por una autoridad competente, este se debe ceñir y diseñar por el procedimiento establecido en la IEC 62305-2.

3.2.2. Consulta.

En el diseño y construcción de las etapas de una nueva estructura, el diseñador y el constructor del LPS y las todas las personas responsables en la construcción o de las regulaciones pertinentes para el uso de la estructura se deben consultar regularmente.

Se debe plantear un diagrama de flujo que facilita un diseño racional de un LPS.

Es importante que en el diseño y construcción de las etapas de un LPS para el caso de una estructura existente, las consultas deben llegar hasta las personas responsables de la estructura.

3.3.3 Sistema de protección externa contra rayos.

Existen dos opciones para el sistema de protección externa contra rayos estos son:

- Sistema LPS no aislado.
- Sistema LPS aislado

3.3.3.1 Sistema LPS no aislado.

En la mayoría de los casos, el LPS externo se debe unir a la estructura que se debe proteger.

Los efectos térmicos sobre el punto de la descarga o sobre los conductores que transportan la corriente del rayo pueden causar daños a la estructura, o al contenido de la estructura a ser protegida, por lo tanto el espaciamiento entre los conductores del LPS y los materiales combustibles debe ser por lo menos de un 0,1m.

Casos típicos son:

- Estructuras con cubiertas de materiales combustibles.

- Estructuras con paredes combustibles.

La posición de los conductores de un LPS externo es fundamental para su diseño y depende de:

- La forma de la estructura a proteger.
- El nivel de protección requerido.
- El método geométrico de diseño empleado.

El diseño de los terminales de captación generalmente determina el diseño de los bajantes del sistema, el sistema de puesta a tierra y el diseño del LPS interno.

Es importante anotar que si existen edificios adyacentes que poseen LPS, estos LPS se deben conectar al LPS del edificio en consideración.

3.3.3.2 LPS Aislado.

Un LPS externo aislado se debe usar cuando el flujo de la corriente del rayo afecta las partes internas conductoras que pueden causar daños a la estructura y a su contenido.

Nota: El uso de LPS aislado es conveniente cuando se prevén cambios en la estructura que implique una modificación al LPS.

Un LPS que esté conectado a elementos estructurales conductivos y a sistemas de anillos equipotenciales solamente a nivel del suelo se define como aislado.

Un LPS aislado se logra con la instalación de barras de terminales de captación o mástiles adyacentes a la estructura a proteger o por la suspensión de cables aéreos superiores entre mástiles con una distancia de separación según el grado de seguridad.

Los LPS aislados también son instalados sobre estructuras de material aislante, como también sobre ladrillo o madera, cuando la distancia de separación se mantiene y no son conectados las partes conductoras de la estructura o a equipos instalados con la excepción del sistema de puesta a tierra a nivel de tierra.

3.4 Estructuras de concreto reforzado.

Es frecuente que las estructuras industriales contengan secciones de concreto reforzado, las cuales son hechas en el sitio. En la mayoría de los casos parte de la estructura puede consistir en unidades de concreto prefabricado o partes en acero.

Por tanto los refuerzos en acero en estructuras de concreto reforzado en acero pueden ser usadas como un componente natural del LPS [2].

Los componentes naturales deben cumplir los siguientes requerimientos:

- Los bajantes deben tener muchos caminos paralelos, continuos y tener un trazado simple [6].
- Las redes de terminación a tierra deben tener una baja resistencia de puesta a tierra. Y una forma simple [7].

Por otra parte, el refuerzo conductivo en el concreto, es propiamente usado para conformar el armazón equipotencializador del LPS interno. [3]

Además el refuerzo de acero de la estructura si es adecuado debe servir para crear un campo magnético el cual ayuda a la protección de equipos eléctricos y electrónicos contra la interferencia causada por los campos electromagnéticos del rayo. [4]

Ahora bien si el refuerzo del concreto y algún otro acero de la construcción de la estructura son conectados tanto interna como externamente de tal forma que eléctricamente halla una continuidad, esto redundará para lograr una efectiva protección contra daños físicos.

La corriente que se inyecta en las varillas del refuerzo se asume como un flujo a través de un gran número de caminos en paralelo. La impedancia resultante es mucho menor y en concordancia la caída de voltaje debido a la corriente del rayo es también menor. El campo magnético generado por la corriente en la malla del refuerzo de acero es débil debido a la baja densidad de corriente y a las rutas en paralelo de corriente generan campos electromagnéticos opuestos. Por tanto las interferencias a conductores eléctricos internos son correspondientemente reducidas.

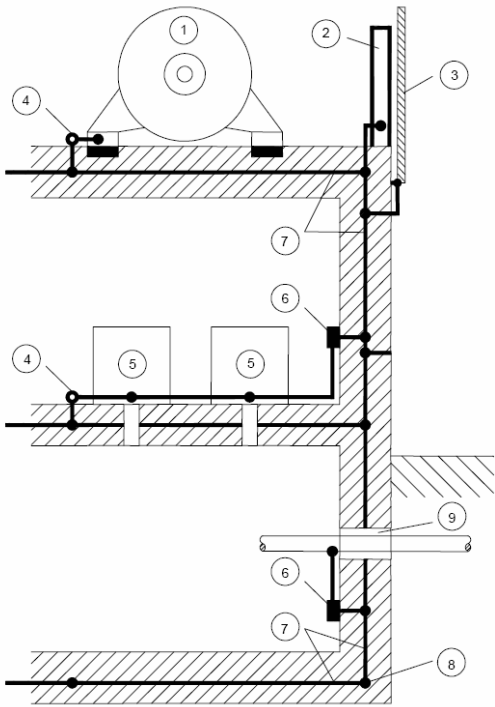
Después de la fase de construcción es casi imposible determinar la disposición y construcción del refuerzo de acero. Por lo tanto la disposición de los refuerzos de acero para el propósito de una protección contra rayos debe ser muy bien documentada. Para tal efecto se deben utilizar planos, descripciones y fotos en todo su desarrollo constructivo.

3.4.1 Utilización de refuerzo en concreto.

Los conductores que conecten las partes conductoras del LPS o placas de puesta a tierra, deben ser soldados en forma ordenada para proveer realmente una conexión eléctrica en el refuerzo de acero.

Platinas conductoras que por ejemplo son conectadas a la estructura pueden ser usadas como conductores naturales del LPS y como puntos de conexión para el sistema interno de equipotencialización.

Un ejemplo práctico es el uso de vigas o rieles de anclaje de maquinas, aparatos o cubiertas para obtener una equalización de potencial.



1. Equipos de potencia.
2. Vigas de acero
3. Cubierta metálica para la fachada.
4. Punto de conexión
5. Equipos eléctricos o electrónicos.
6. Barra de conexión.
7. Refuerzo de acero en concreto (con superposición de malla conductoras).
8. Electrodo de tierra de cimentación.
9. Entrada común para diferentes servicios.

Figura. 1 Conexión equipotencial en una estructura con refuerzo de acero [9]

La localización de los terminales de conexión en la estructura se debe especificar en la misma etapa de planeamiento del diseño del LPS y deben ser conocidos por los contratistas civiles del proyecto.

El contratista del edificio se debe consultar para determinar donde se puede soldar, reforzar o anclar las varillas, o si es el caso adicionar conductores. Todos los trabajos se deben inspeccionar antes y después del vaciado del cemento.

3.4.2 Soldadura o anclaje para las varillas del refuerzo de acero.

La continuidad de las varillas se debe hacer con soldadura o anclaje. Los anclajes deben cumplir conforme la EN 50164-1[5].

La soldadura para las varillas de reforzamiento solo se puede hacer si el diseñador de la parte civil así lo consiente.

El reforzamiento a las varillas se debe hacer con soldadura sobre una longitud no menor de 30 mm.

La conexión para los componentes externos de un sistema de protección contra rayos se debe hacer a través de una barra de refuerzo que se lleva fuera del cemento en un punto determinado o por una placa de tierra que traspasa el concreto, la cual es soldada o anclada a las barras de refuerzo.

Cuando las uniones entre las barras de refuerzo y el conductor que une las partes conductoras del LPS están dentro del cemento, estas se deben hacer por medio de abrazaderas y dos conductores (o un conductor de conexión con dos abrazaderas para diferente barra d de seguridad.

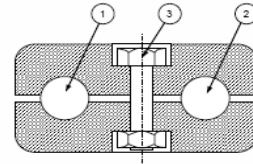


Figure E.6a – Circular conductor to a reinforcing rod

Figura 3. Platina conductora sólida con una barra de refuerzo.

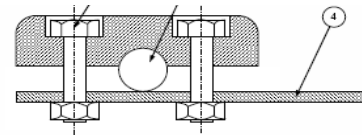


Figura 2. Conductor circular con una barra de refuerzo.

1. Barra de refuerzo.
2. Conductor circular.
2. Tornillo.
3. Platina conductora.

El conductor que une las partes conductoras del LPS se debe dimensionar proporcional a la corriente que esta fluyendo hacia el punto de conexión [8].

Clase de LPS	Material	Sección transversa – mm ²
I a IV	Cobre	14
I a IV	Aluminio	22
I a IV	Acero	50

Tabla 1. Dimensiones mínimas de conductores que conectan diversas barras de conexión o conexiones de barras conectoras al sistema de Terminal de tierra.

Clase de LPS	Material	Sección transversa – mm ²
I a IV	Cobre	5
I a IV	Aluminio	8
I a IV	Acero	15

Tabla 2. Dimensiones mínimas de los conductores que conectan instalaciones internas metálicas con la barra de conexión.

3.4.3 Materiales.

Los siguientes materiales se pueden usar como conductores adicionales que se instalan en el concreto para formar parte de la protección contra rayos (LPS), estos son:

- Acero
- Acero suave

- Acero galvanizado
- Acero inoxidable
- Cobre

El uso de barras de acero galvanizado en concreto en ocasiones no es permitido por el ingeniero civil. Esto se basa en un malentendido. El acero de refuerzo se vuelve pasivo en el concreto, dando como resultado un alto potencial que lo protege de la corrosión

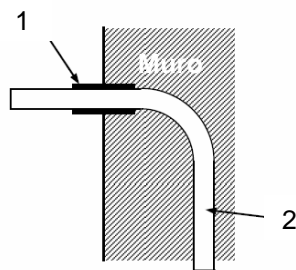
Para evitar la confusión entre los diversos tipos de barras de acero que se utilizan en concreto, se recomienda que las barras de acero sean redondas por lo menos las del diámetro de 8 milímetros, con una superficie lisa para ser utilizadas como conductores adicionales en contraste con las de superficie acanalada ordinaria de las barras de refuerzo.

3.4.4 Corrosión.

Cuando el acero de reforzamiento es utilizado como conductor de conexión del LPS y este se hace a través de los muros de concreto, se debe tener cuidado de proveer de una protección contra la corrosión química.

Una medida simple de protección es proveer de una funda de silicona en la vecindad del punto de salida del muro (ver figura 4).

En el caso de utilizar conductores de conexión de cobre se puede utilizar aquel que tiene su cubierta natural de fábrica, sin ninguna otra protección.



1. Funda o aislante de silicona.
2. Conector de conexión de acero.

Figura 4. Protección contra la corrosión.

3.4.5 Conexiones.

Investigaciones muestran que no es recomendable amarrar los elementos que transportan la corriente del rayo. Hay un riesgo de explosión sobre el conductor de amarre dañando el concreto. Sin embargo sobre la base de investigaciones recientes se puede asumir que por lo menos uno de cada tres formas de amarras con conductores forman una unión eléctrica conductiva, que

son prácticamente todas las barras de refuerzo que están eléctricamente interconectadas. Estas medidas tomadas sobre estructuras de concreto reforzado soportan esta conclusión.

Para conexiones que transportan corriente de rayo, el método preferido es soldar y anclar. En el caso de usar conexiones amarradas es recomendable adicionar conductores para equipotencializar y para propósitos solamente de compatibilidad electromagnética. (EMC).

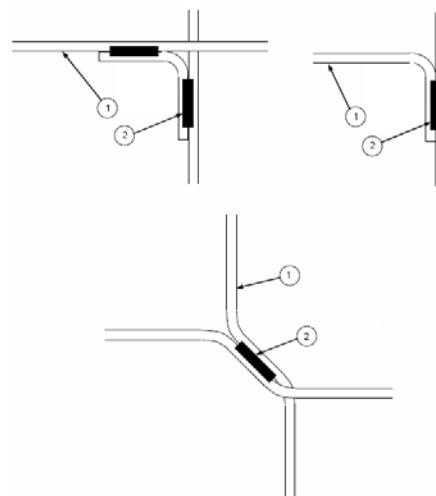
La conexión de los circuitos externos al refuerzo de interconexión se debe hacer por medio de soldaduras o de anclajes.

Las soldaduras en concreto se deber hacer por lo menos de 30 mm de longitud. Las barras transversales se deben doblar por lo menos 50 mm antes de soldadura y en paralelo a la barra que se va a unir. (ver figura 5)

Cuando las barras soldadas se necesitan dentro del concreto, no es suficiente soldar en los puntos de travesía con longitudes de la costura de la soldadura solamente de algunos milímetros. Tales empalmes se rompen con frecuencia cuando se vierte el concreto.

Cuando la soldadura no es permitida sobre la barras de refuerzo, se deben usar anclajes o conductores exclusivos para tal fin.

Los conductores deben ser de acero, acero suave, acero galvanizado o cobre. Los conductores adicionales se deben conectar muchas veces a la barras de refuerzo por amarras y anclajes que garantizan la fijación al acero de refuerzo.



1. Barras de reforzamiento.
2. Cordón de soldadura no debe tener una longitud de 30 mm.

Figura 5. Uniones soldadas a varillas de reforzamiento en concreto reforzado.

3.4.6 Bajantes.

Las barras de refuerzo de muros o columnas de concreto y el marco estructural de acero se pueden usar como bajantes naturales de un LPS.

Un terminal de conexión se debe proveer en el techo con el fin de facilitar la conexión de un sistema terminal aéreo (pararrayo). También se debe proveer de un terminal de conexión cerca al cimiento para facilitar la conexión de un sistema de electrodo a tierra. (Puesta a tierra).

Cuando se este usando una barra en particular del acero de refuerzo como bajante, se debe estar seguro de tomar un ruta continua a tierra, de tal forma que se establezca una continuidad eléctrica. En el caso de que esta continuidad vertical no es garantizada por el bajante natural desde el techo hasta la tierra, se debe proveer de conductores dedicados para tal efecto. Estos conductores deben ser amarrados al acero de refuerzo de la estructura.

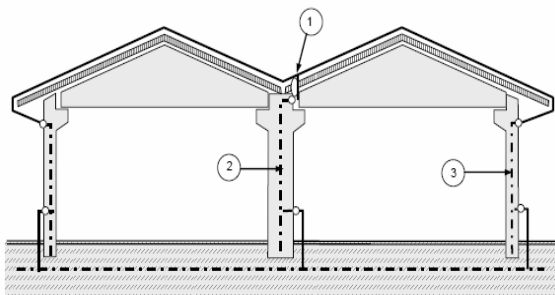
3.4.7 Equipotencialización.

Cuando un gran número de elementos se requieren conectar a las barras de refuerzo de la estructura para diferentes pisos y además se necesita que se tengan varios caminos de corriente de baja impedancia, es apropiado la eualización del potencial, para esto se deben utilizar anillos conductores los cuales se instalan dentro o fuera del concreto en los pisos separados. Estos anillos conductores se deben interconectar por medio de barras verticales en intervalos no mayor a los 10 metros.

3.4.8 Cimientos como Terminal de tierra.

Para grandes estructuras y plantas industriales el cimiento es normalmente reforzado. Las barras de refuerzo del cimiento, la losa del cimiento y paredes externas en la región del suelo a la superficie de cada estructura forman un excelente terminal a tierra. [6]

En el caso de cimientos pequeños se debe considerar una conexión a través de electrodos de puesta a tierra que se conectar a las barras de refuerzo (ver Figura 6).



1. Conductores aéreos del LPS.
2. Acero de refuerzo en columnas de concreto.
3. Acero de refuerzo en muros de concreto.

Figura 6. Uniones de elementos de un LPS

4. CONCLUSIONES

Como se ilustró la utilización de los recursos naturales de una edificación puede ahorrar grandes cantidades de dinero en el caso de las construcciones nuevas, sin embargo es importante seguir muy de cerca la normatividad para tal efecto, no solo cuando se inicia una construcción sino para aplicarla en el caso de construcciones existentes con el fin de evitar posibles daños por el impacto de una descarga atmosférica sobre dichas edificaciones.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] LPS- lightning protection system- IEC 62305-2.
- [2] IEC 62305-3, Capítulo 4.3.
- [3] IEC 62305-3, Capítulo 6.2.
- [4] IEC 62305-4.
- [5] EN 50164-1.
- [6] IEC 32605-3, Capítulo 5.3
- [7] IEC 32605-3, Capítulo 5.4
- [8] IEC 62305-3 Página30, tabla 8.
- [9] IEC 62305-3 – página. 64