

**PROYECTO: HTA-1320 MOLIENDA DE CEMENTO I.S.S.A**

Documento No. MC-TIE-114-001	MOLIENDA DE CEMENTO I.S.S.A	Proyecto: HTA-1320
Preparado por: A.MENDOZA	Informe: MEMORIA DE CALCULOS APANTALLAMIENTO	Fecha impresión: 19/08/2015
Revisado por: J.ACHURY	Aprobado por: Raúl Aguirre	Rev. 0

**MEMORIA DE CÁLCULO SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS**

CONTENIDO	
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN..... 2</b>
<b>2</b>	<b>NIVEL DE RIESGO..... 2</b>
<b>3</b>	<b>ANÁLISIS DE RIESGO..... 4</b>
<b>3.1</b>	<b>Número de eventos..... 6</b>
<b>3.2</b>	<b>Probabilidad de daño..... 7</b>
<b>3.3</b>	<b>Cantidad de pérdidas..... 8</b>
<b>4</b>	<b>EVALUACIÓN DE RIESGO SIN PROTECCIÓN..... 9</b>
<b>4.1</b>	<b>Número de eventos..... 9</b>
<b>4.2</b>	<b>Probabilidad de daño..... 9</b>
<b>4.3</b>	<b>Pérdidas..... 10</b>
<b>4.4</b>	<b>Riesgo..... 11</b>
<b>5</b>	<b>EVALUACIÓN DE RIESGO CON PROTECCIÓN..... 11</b>
<b>6</b>	<b>NIVEL DE PROTECCIÓN SELECCIONADO..... 13</b>
<b>7</b>	<b>APANTALLAMIENTO..... 13</b>
<b>7.1</b>	<b>Radio de la esfera rodante..... 13</b>
<b>7.2</b>	<b>Longitud mínima del electrodo de puesta a tierra..... 14</b>
<b>7.3</b>	<b>Separación de conductores bajantes..... 14</b>
<b>7.4</b>	<b>Planos entregados..... 15</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES..... 15</b>

## 1 INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene la memoria de cálculo del Sistema de protección contra rayos para el proyecto Molienda de Cemento I.S.S.A. En este documento se argumenta la necesidad del sistema de protección externo (SPE), longitud de los electrodos del sistema de puesta a tierra del sistema de protección contra rayos (SIPRA) y el radio máximo de la esfera que debe ser usado en el apantallamiento conforme a la metodología de la norma IEC 62305, en la que se tienen cuatro tipos de pérdidas asociadas a determinados niveles de riesgo que son reducidos mediante medidas de protección adoptadas.

## 2 NIVEL DE RIESGO

Antes de realizar el análisis de riesgo con el cual se define el radio de la esfera rodante del apantallamiento se hace un análisis del nivel de riesgo que se tiene en el proyecto. En este análisis se tienen en cuenta el indicador de parámetros del rayo y el indicador de gravedad de la estructura. El indicador de parámetros de rayo es obtenido a partir de la densidad de descargas a tierra (DDT) y la corriente pico absoluta promedio.

$$DDT = 0.024 * NC^{1.12}$$

En donde:

NC Días tormentosos al año

Para el caso de este proyecto se toma un NC 150 que en consecuencia da como resultado una DDT de 6.5 y para la tabla 2.1 se asumirá el peor caso, en el cual la corriente pico absoluta promedio es mayor a 40 [kA] obteniendo de esta forma una ponderación **alta** en el indicador de parámetros del rayo.

Densidad de descargas a tierra [ Descargas/km <sup>2</sup> - año]	Corriente pico absoluta promedio [kA]		
	40 ≤ I <sub>abs</sub>	20 ≤ I <sub>abs</sub> < 40	I <sub>abs</sub> < 20
30 ≤ DDT			
15 ≤ DDT < 30			
5 ≤ DDT < 15			
DDT < 5			

	Severos		Altos
	Medios		Bajos

Tabla 2.1 Indicador de parámetros del rayo

El indicador de gravedad ( $I_G$ ) de la estructura que se presenta en las estructuras a proteger viene dado por la expresión 2.1

$$I_G = I_{uso} + I_T + I_{AA} \quad (2.1)$$

En donde:

- $I_{uso}$  Sub-indicador relacionado con el uso de la estructura
- $I_T$  Sub-indicador relacionado con el tipo de estructura
- $I_{AA}$  Sub-indicador relacionado con la Altura y área de la estructura

Los valores de los indicadores para calcular el índice de gravedad se obtienen de las tablas 2.1 a 2.3 de donde la clasificación de la estructura es de tipo C; el tipo de estructura conforme a los materiales de construcción es mixta; con respecto a la altura y área de la estructura, esta es mayor a 25 m y mayor a 900 m<sup>2</sup> respectivamente.

Clasificación de estructuras	Ejemplos de estructura	Indicador
A	Teatros, centros educativos, iglesias, supermercados, centros comerciales, áreas deportivas al aire libre, parques de diversión, aeropuertos, hospitales, prisiones	40
B	Edificios de oficinas, hoteles, viviendas, grandes industrias, áreas deportivas cubiertas.	30
C	Pequeñas y medianas industrias, museos, bibliotecas, sitios históricos y arqueológicos	20
D	Estructuras no habitadas	0

Tabla 2.1 Subindicador relacionado con el uso de estructura

Tipo de estructura	Indicador
No metálica	40
Mixta	20
Metálica	0

Tabla 2.2 Subindicador relacionado con el tipo de estructura

Altura y área de la estructura	Indicador
Área menor a 900 m <sup>2</sup>	
Altura menor a 25 m	5
Altura mayor o igual a 25 m	20
Área mayor o igual a 900 m <sup>2</sup>	
Altura menor a 25 m	10
Altura mayor o igual a 25 m	20

Tabla 2.3 Subindicador relacionado con el tipo de estructura

$$I_G = 20 + 20 + 20 = 60$$

Resultado de la suma de subindicadores de estructura	Indicador de Gravedad
0 a 35	Leve
36 a 50	Baja
51 a 65	Media
66 a 80	Alta
81 a 100	Severa

**Tabla 2.4** Indicador de gravedad

Al ponderar el indicador de gravedad obtenido con los indicadores de exposición al rayo, se tiene como resultado un nivel de riesgo medio para el cual la norma IEC 62305 recomienda tomar como medidas de protección la elaboración de un sistema de protección interno y sistema de protección externo.

GRAVEDAD \ PARÁMETROS	Severa	Alta	Media	Baja	Leve
Severo					
Alto					
Medio					
Bajo					

**Tabla 2.5** Matriz de niveles de riesgo

	ALTO
	MEDIO
	BAJO

### 3 ANÁLISIS DE RIESGO

La norma IEC 62305 define valores de riesgo tolerables para 3 tipos de pérdidas: vidas humanas o lesiones permanentes; pérdidas de servicio público; pérdida de patrimonio cultural que tienen como valores típicos y representativos los mostrados en la tabla 3.1.

Tipo de pérdida	R <sub>T</sub> (y <sup>-1</sup> )
Pérdida de vidas o lesiones permanentes	10 <sup>-5</sup>
Pérdida de servicio público	10 <sup>-3</sup>
Pérdida de patrimonio Cultural	10 <sup>-3</sup>

**Tabla 3.1** Valores típicos de riesgo tolerable

Teniendo en cuenta los valores de riesgo tolerables se calculan las pérdidas para cada una de las pérdidas considerando que la pérdida de patrimonio cultural no aplica en el presente proyecto y por lo tanto es omitida en los cálculos.

El riesgo para cada una de las diferentes pérdidas se calcula por medio de la expresión 3.1

$$R_x = N_x * P_x * L_x \quad (3.1)$$

Siguiendo la metodología de la norma IEC 62305 cada riesgo se calcula por la sumatoria de los componentes de riesgo que tenga asociado cada tipo de pérdida, siendo necesario realizar el cálculo de cada una de las componentes de riesgos descritas en la tabla 3.2

DESCRIPCIÓN	
<b>Ra</b>	Componente relacionada con lesiones a seres vivos causado por tensiones de paso y contacto en las zonas con un radio de cobertura de 3m fuera de la estructura
<b>Rb</b>	Componente relacionada con los daños físicos causados por chispas peligrosas dentro de la estructura causando fuego o explosión
<b>Rc</b>	Componente relacionada con la falla de sistemas internos causados por Impulsos Electromagnéticos del Rayo
<b>Rm</b>	Componente relacionada con la falla de sistemas internos causados por Impulsos Electromagnéticos del Rayo
<b>Ru</b>	Componente relacionada con lesiones a seres vivos causado por tensiones de contacto dentro de la estructura, debido a corrientes de rayo que fluyen por una línea entrante a la estructura
<b>Rv</b>	Componente relacionada con los daños físicos debido a corrientes de rayo transmitida a través de la acometida de servicios
<b>Rw</b>	Componente relacionada a fallas de sistemas internos causados por sobretensiones inducidas sobre las acometidas y transmitida a la estructura
<b>Rz</b>	Componente relacionada a fallas de sistemas internos causados por sobretensiones inducidas sobre las líneas de acometidas y transmitida a la estructura

**Tabla 3.2** Descripción de los componentes del riesgo

El riesgo para cada tipo de pérdida es la sumatoria de los componentes de riesgo que sean relevantes en el tipo de pérdida. La tabla 3.3 presenta un resumen de los componentes relevantes para cada uno de los tipos de riesgo siendo R1 el de pérdida de vida humana; R2 pérdida del servicio público; R3 pérdida de patrimonio cultural; R4 pérdida de valor económico.

Fuente de daño	Descargas sobre la estructura S1			Descargas cercanas a la estructura S2	Descargas sobre las acometidas de servicios			Descargas sobre las acometidas de los servicios
	RA	RB	RC		RU	RV	RW	
Componente de riesgo	RA	RB	RC	Rm	RU	RV	RW	Rz
Riesgo para cada tipo de pérdida								
R1	X	X	X	X	X	X	X	X
R2		X	X	X		X	X	X
R3		X				X		
R4	X	X	X	X	X	X	X	X

**Tabla 3.3** Componentes de riesgo para cada tipo de pérdida en una estructura

Cada componente del riesgo debe calcularse teniendo en cuenta un determinado número de eventos, probabilidad y cantidad de pérdidas, identificadas respectivamente como N, P y L en la expresión 3.1. En la tabla 3.4 pueden observarse las probabilidades y cantidad de pérdidas que deben ser calculadas para poder obtener los componentes de riesgo en cada uno de los casos.

Daño	Descargas sobre la Estructura S1	Descargas cercanas a la estructura S2	Descargas sobre las acometidas de servicios S3 <sup>(1)</sup>	Descargas cercanas a las acometidas de servicios S4 <sup>(1)</sup>
D1	$R_A = N_D * P_A * L_A$		$R_U = (N_L + N_{Da}) * P_U * L_U$	
D2	$R_B = N_D * P_B * L_B$		$R_V = (N_L + N_{Da}) * P_V * L_V$	
D3	$R_C = N_D * P_C * L_C$	$R_M = N_M * P_M * L_M$	$R_W = (N_L + N_{Da}) * P_W * L_W$	$R_Z = (N_I - N_L) * P_Z * L_Z$
<sup>1)</sup> Si la línea tiene más de una sección (aérea, subterránea, apantallada, sin apantallamiento), el valor de $R_U$ , $R_V$ , $R_W$ y $R_Z$ serán la suma de los valores $R_U$ , $R_V$ , $R_W$ y $R_Z$ pertinentes a cada sección de la línea. En caso de que a la estructura lleguen más líneas conectadas a través de diferentes rutas, el cálculo se debe hacer para cada línea. NOTA 1 Las componentes $L_X$ varían de acuerdo al tipo de riesgo a evaluar ( $R_1$ , $R_2$ , $R_3$ , $R_4$ ) NOTA 2 Para el cálculo de $R_Z$ si $(N_I - N_L) \leq 0$ entonces $R_Z = 0$				

**Tabla 3.4** Componentes de riesgo en una estructuras

### 3.1 Número de eventos

El valor del número de eventos está determinado por la densidad de descargas a tierra (DDT) ; características del objeto a proteger; características de los objetos que lo rodean ; características del suelo entre otras.

Para calcular cada número de eventos  $N_x$  listados en la tabla 3.4 se utilizan las expresiones 3.1.1 a la 3.1.5 presentadas a continuación.

$$N_D = DDT * A_d * C_d * 10^{-6} \quad (3.1.1)$$

En donde:

$N_D$  = Número anual de descargas a la estructura  
 $DDT$  = Densidad de descargas a tierra  
 $A_d$  = Área efectiva de la estructura aislada  
 $C_d$  = Factor que toma en cuenta la influencia de la localización relativa del objeto a ser protegido

$$N_M = DDT * (A_m - A_{d/b} * C_{d/b}) * 10^{-6} \quad (3.1.2)$$

En donde:

$N_M$  = Número anual de descargas sobre estructuras adyacentes  
 $A_m$  = Área de influencia de la estructura  
 $A_{d/b}$  = Área efectiva de la estructura  
 $C_{d/b}$  = Factor que toma en cuenta la influencia de la localización relativa de la estructura a ser protegida

$$N_L = DDT * A_l * C_d * C_t * 10^{-6} \quad (3.1.3)$$

En donde:

- $N_L$  = Número de eventos peligrosos debido a descargas sobre el servicio  
 $A_l$  = Área efectiva de descargas al servicio  
 $C_d$  = Factor de localización del servicio  
 $C_t$  = Factor de corrección por la presencia de transformadores AT/BT localizado entre el punto de choque y la estructura

$$N_{DA} = DDT * A_{d/a} * C_{d/a} * C_t * 10^{-6} \quad (3.1.4)$$

En donde:

- $N_{DA}$  = Número de eventos peligrosos debido a impactos sobre estructura adyacente "a" donde proviene la acometida  
 $A_{d/a}$  = Área efectiva de estructura adyacente aislada  
 $C_{d/a}$  = Factor que toma en cuenta la influencia de la localización relativa de la estructura adyacente.

$$N_i = DDT * A_i * C_e * C_t * 10^{-6} \quad (3.1.5)$$

En donde:

- $N_i$  = Número de eventos peligrosos por descargas cercanas al servicio  
 $A_i$  = Área efectiva para descargas próximas a la acometida del servicio  
 $C_e$  = Factor ambiental

### 3.2 Probabilidad de daño

Al igual que para el caso del número de eventos en las probabilidades de daño se deben calcular varias probabilidades, específicamente un total de 8 probabilidades que se presentan y describen a continuación en la tabla 3.2.1 Estas probabilidades varían dependiendo de las medidas de protección que sean aplicadas.

	DESCRIPCIÓN
$P_A$	Probabilidad de lesiones a seres vivos a causa de tensiones de paso o contacto por descargas directas a la estructura
$P_B$	Probabilidad de daño a la estructura por descargas directas
$P_C$	Probabilidad de daño de sistemas internos por impacto directo a la estructura
$P_M$	Probabilidad de daño de sistemas internos por impactos cercanos a la estructura
$P_U$	Probabilidad de lesiones a seres vivos a causa de tensiones de toque o paso por descargas sobre las acometidas de servicio
$P_V$	Probabilidad de daños físicos a causa de descargas directas en las acometidas de servicios

<b>P<sub>w</sub></b>	Probabilidad de daño de sistemas internos a causa de descargas directas en las acometidas de servicios
<b>P<sub>z</sub></b>	Probabilidad de daño de sistemas internos a causa de descargas cercanas a las acometidas de servicios

**Tabla 3.2.1** Descripción de probabilidades

### 3.3 Cantidad de pérdidas

A diferencia de como sucede con las probabilidades (P) la cantidad de pérdidas (L) varía de acuerdo a cada tipo de pérdida bien sea R1, R2, R3 o R4. De esta manera existen 4 tipos de cantidades de pérdidas (L1, L2, L3, L4) y en cada una de estas hay pérdidas relativas a diferentes eventos tales como tensiones de paso y contacto, descargas en acometida de servicios entre otros que se describen de la sección 3.3.1 a la sección 3.3.4

#### 3.3.1 Pérdidas de vidas humanas (L1)

<b>Pérdida de vidas humanas por</b>	
<b>L<sub>A</sub></b>	Tensiones de paso y contacto fuera de la estructura
<b>L<sub>B</sub></b>	Fuego o explosión dentro de la estructura por arco eléctrico por impacto sobre la estructura
<b>L<sub>C</sub></b>	Falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura
<b>L<sub>M</sub></b>	Falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a la estructura
<b>L<sub>U</sub></b>	Tensiones de paso y contacto dentro de la estructura
<b>L<sub>V</sub></b>	Descargas en acometida de servicios
<b>L<sub>W</sub></b>	Falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre la acometida de servicios
<b>L<sub>Z</sub></b>	Falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a la acometida de servicios

**Tabla 3.3.1** Descripción de pérdida de vidas humanas

#### 3.3.2 Pérdida inaceptable del servicio público (L2)

<b>Pérdida del servicio público por</b>	
<b>L<sub>B</sub></b>	Fuego o explosión dentro de la estructura por arco eléctrico por impacto sobre la estructura
<b>L<sub>C</sub></b>	Falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura
<b>L<sub>M</sub></b>	Falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a la estructura
<b>L<sub>V</sub></b>	Descargas en acometida de servicios
<b>L<sub>W</sub></b>	Falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre la acometida de servicios
<b>L<sub>Z</sub></b>	Falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a la acometida de servicios

**Tabla 3.3.2** Descripción de pérdida del servicio público

#### 3.3.3 Pérdida del valor cultural irremplazable (L3)

Al igual que para las pérdidas de vidas humanas, pérdida inaceptable del servicio público y pérdidas económicas también se definen en la norma componentes de pérdidas del valor cultural irremplazable, sin embargo al no tener una estructura de este tipo en el proyecto la pérdida del valor cultural irremplazable no aplica y por lo tanto no se muestran sus componentes como en los otros casos de las pérdidas.

### 3.3.4 Pérdidas económicas (L4)

Pérdidas económicas por	
L <sub>A</sub>	Tensiones de paso y contacto fuera de la estructura
L <sub>B</sub>	Fuego o explosión dentro de la estructura por arco eléctrico por impacto sobre la estructura
L <sub>C</sub>	Falla de sistemas internos por IER a causa de descargas en la estructura
L <sub>M</sub>	Falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a la estructura
L <sub>U</sub>	Tensiones de paso y contacto dentro de la estructura
L <sub>V</sub>	Descargas en acometida de servicios
L <sub>W</sub>	Falla de sistemas internos por IER a causa de descargas sobre la acometida de servicios
P <sub>Z</sub>	Falla de sistemas internos por IER a causa de descargas cercanas a la acometida de servicios

Tabla 3.3.2 Descripción de pérdidas económicas

## 4 EVALUACIÓN DE RIESGO SIN PROTECCIÓN

Una vez seguida la metodología descrita en la norma IEC 62305 para la obtención del número de eventos, probabilidad de daño y cantidad de pérdidas se obtienen los resultados que se presentan a continuación siguiendo el supuesto de que no se adopta ninguna medida de protección.

### 4.1 Número de eventos

Siguiendo la metodología IEC 62305 se calculó cada uno de los números de eventos y sus valores se resumen en la tabla 4.1.

Número de eventos	Valor
N <sub>D</sub>	0,463
N <sub>M</sub>	3,638
N <sub>L</sub>	0,001
N <sub>DA</sub>	0,087
N <sub>I</sub>	0,018

Tabla 4.1 Resultados obtenidos para número de eventos

### 4.2 Probabilidad de daño

Las probabilidades están directamente relacionadas con las medidas de protección adoptadas y en este caso se parte del supuesto que dichas medidas no se han aplicado razón por la cual se tienen valores de 1 en la mayoría de probabilidades. Estos valores de probabilidades son calculados siguiendo la metodología IEC 62305 que se sugiere sea revisada en caso de que se tengan dudas de la obtención de dichos valores tanto para el presente caso como en el caso de la sección 5 en la cual son aplicadas las medidas de protección.

Probabilidad	Valor
P <sub>A</sub>	0,01
P <sub>B</sub>	1
P <sub>C</sub>	1
P <sub>M</sub>	0,0001
P <sub>U</sub>	1
P <sub>V</sub>	1
P <sub>Z</sub>	1
P <sub>W</sub>	1

**Tabla 4.2** Probabilidades de daño sin protección

### 4.3 Pérdidas

Siguiendo la metodología de la norma IEC 62305 para cada riesgo varía el tipo de pérdida y por esta razón en este proyecto se tienen tres tipos de pérdidas cada una asociada a sus respectivos eventos y sus valores se presentan de la tabla 4.3.1 a la tabla 4.3.3

L <sub>1</sub>	
L <sub>A</sub>	0,0001
L <sub>B</sub>	0,05
L <sub>U</sub>	0,0001
L <sub>V</sub>	0,05
L <sub>C</sub>	0,1
L <sub>M</sub>	0,1
L <sub>W</sub>	0,1
L <sub>Z</sub>	0,1

**Tabla 4.3.1** Probabilidades de daño sin protección

L <sub>2</sub>	
L <sub>B</sub>	0,005
L <sub>V</sub>	0,005
L <sub>C</sub>	0,001
L <sub>M</sub>	0,001
L <sub>W</sub>	0,001
L <sub>Z</sub>	0,001

**Tabla 4.3.2** Valores de componentes para pérdidas del servicio público

L <sub>4</sub>	
L <sub>A</sub>	0,0001
L <sub>U</sub>	0,0001
L <sub>B</sub>	0,5
L <sub>V</sub>	0,5
L <sub>C</sub>	0,01
L <sub>M</sub>	0,01
L <sub>W</sub>	0,01
L <sub>Z</sub>	0,01

Tabla 4.3.3 Valores de componentes para pérdidas económicas

#### 4.4 Riesgo

En la tabla 4.4 se muestran los valores de los componentes de riesgo obtenidos para cada tipo de pérdida y en la última columna se observa el riesgo total obtenido para cada pérdida.

Fuente de daño	Descargas sobre la estructura S1			Descargas cercanas a la estructura S2	Descargas sobre las acometidas de servicios			Descargas sobre las acometidas de los servicios	
	R <sub>A</sub>	R <sub>B</sub>	R <sub>C</sub>	R <sub>M</sub>	R <sub>U</sub>	R <sub>V</sub>	R <sub>W</sub>	R <sub>Z</sub>	
Riesgo para cada tipo de pérdida									$\sum R_i x_i$
R1	5E-07	0,023149	0,04629816	3,63752E-05	8,8E-06	0,0044	0,00878871	0,001644794	0,003322
R2		0,002315	0,000462982	3,63752E-07		0,0004	8,7887E-05	1,64479E-05	0
R3		0				0			0
R4	5E-07	0,231491	0,004629816	3,63752E-06	8,8E-06	0,0439	0,00087887	0,000164479	0,2811204

Tabla 4.4 Resumen del riesgo por fuente de daño y componente de daño

De la tabla 4.4 puede concluirse que los valores obtenidos son mayores que los riesgos tolerables para todos los riesgos por lo que se hace necesario adoptar medidas de protección que disminuyan el riesgo.

## 5 EVALUACIÓN DE RIESGO CON PROTECCIÓN

La norma IEC 62305 define 4 niveles de protección contra rayo (NPR) cuya aplicación en los cálculos influye directamente en las probabilidades de daño. Para este caso se elige un nivel de protección IV basado en la disminución del riesgo presentada y en restricciones económicas. Los únicos valores que presentan cambios con respecto a los cálculos de la sección 4 son los valores de las probabilidades debido a que son los únicos valores que cambian conforme al nivel de protección, dichas probabilidades se presentan a continuación en la tabla 5.1

Probabilidad	Valor
P <sub>A</sub>	0,0001
P <sub>B</sub>	0,01
P <sub>C</sub>	0,03
P <sub>M</sub>	0,0001
P <sub>U</sub>	0,0001
P <sub>V</sub>	0,03
P <sub>Z</sub>	0,03
P <sub>W</sub>	0,03

**Tabla 5.1** Valores de probabilidades de daño con NPR IV

Los valores de riesgo obtenidos adoptando las medidas de protección correspondiente a un NPR IV se presentan a continuación en la tabla 5.2

Fuente de daño	Descargas sobre la estructura S1			Descargas cercanas a la estructura S2	Descargas sobre las acometidas de servicios			Descargas sobre las acometidas de los servicios	
	RA	RB	RC		Rm	RU	RV		
Componente de riesgo									
Riesgo para cada tipo de pérdida									$\sum R_x$
R1	5E-09	0,000231	0,001388945	3,63752E-05	8,8E-10	0,0001	0,00026366	4,93438E-05	0,0021017
R2		2,31E-05	1,38894E-05	3,63752E-07		1E-05	2,6366E-06	4,93438E-07	5,372E-05
R3		0				0			0
R4	5E-09	0,002315	0,000138894	3,63752E-06	8,8E-10	0,0013	2,6366E-05	4,93438E-06	0,0038071

**Tabla 5.2** Resumen de riesgo por fuente de daño y componente de daño con NPR IV

Los valores de riesgo obtenidos sin NPR y NPR IV se pueden comparar en la tabla 5.3 en la que puede observarse como se reducen pasando a ser para el Riesgo 1 y 2 el 2% del valor que se tenía sin protección y para el riesgo 4 el 1% del valor que se tenía antes de aplicar la protección, lo que es una disminución notable del riesgo.

	Sin NPR	NPR IV	%
<b>R1</b>	0,0843	0,0021	2%
<b>R2</b>	0,0033	0,0000537	2%
<b>R4</b>	0,2811	0,0038	1%

**Tabla 5.3** Comparación de valores de riesgo

## 6 NIVEL DE PROTECCIÓN SELECCIONADO

La norma IEC 62305 genera un sistema fijo de parámetros máximos y mínimos de corriente de rayo de acuerdo al NPR, tal y como se muestra en la tabla 3.1. Para este caso se tomará un **NPR IV** debido a que fue elegido de acuerdo al nivel de riesgo y restricciones económicas, en este nivel los valores máximos de los parámetros de corriente del rayo no serán excedidos con una probabilidad del 50%.

Primera descarga corta			NPR			
Parámetro	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV
Corriente pico	$I$	KA	200	150	100	
Carga corta	$Q_{corta}$	C	100	75	50	
Energía específica	$W/R$	kJ/ $\Omega$	10 000	5 625	2 500	
Descarga corta subsecuente			NPR			
Parámetro	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV
Corriente pico	$I$	KA	54	40,5	27	
Pendiente Promedio	$di/dt$	kA $\mu$ s	120	90	60	
Parámetros de tiempo	$T_1/T_2$	$\mu$ s/ $\mu$ s	0,4/50			
Descarga larga			NPR			
Parámetro	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV
Carga larga	$Q_{larga}$	C	100	75	50	
Parámetro de tiempo	$T_{largo}$	s	0,5			
Rayo			NPR			
Parámetro	Símbolo	Unidad	I	II	III	IV
Carga	$Q_{rayo}$	C	300	225	150	

Tabla 6.1 Valores máximos de parámetros del rayo de acuerdo con el NPR

## 7 APANTALLAMIENTO

### 7.1 Radio de la esfera rodante

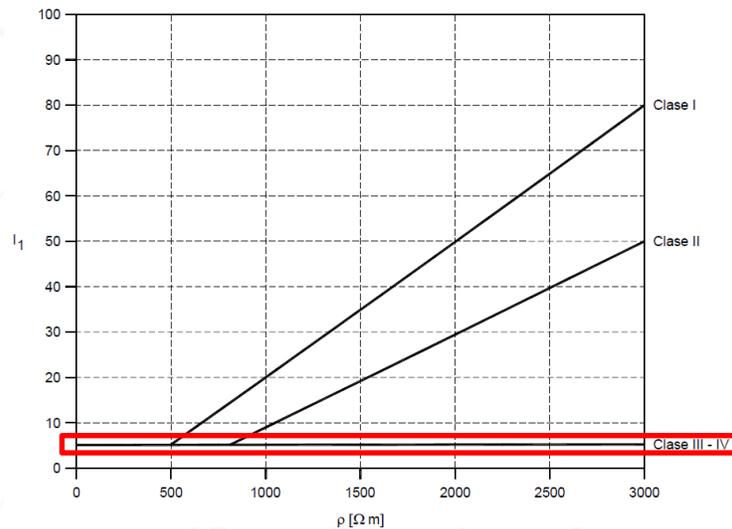
En el apantallamiento se utiliza el método de la esfera rodante definiendo su radio conforme a la norma IEC 62305, que establece que este radio como máximo debe tener un valor que viene dado por el NPR seleccionado. En el caso del proyecto el NPR es de nivel IV y en consecuencia el radio de la esfera debe ser como máximo de 55m, sin embargo para tener un sistema de captación que permita tener una mayor protección se tomará el radio del nivel I el cual es de 35m.

Nivel de protección	Radio de la esfera ( $r_{sc}$ ) [m]
Nivel I	35
Nivel II	40
Nivel III	50
Nivel IV	55

Tabla 7.1 Valores máximos del radio de la esfera rodante según el nivel de protección

## 7.2 Longitud mínima del electrodo de puesta a tierra

La norma establece dos tipos de configuraciones para la puesta a tierra del sistema de protección contra rayos. Una de las configuraciones consiste de electrodos que pueden estar en disposición horizontal y vertical, mientras que la otra configuración consiste en anillos. Para este proyecto se escogió la configuración de electrodos verticales que debe cumplir con una longitud mínima de 0.5 veces la longitud de electrodos en disposición horizontal cuyos valores para las diferentes clases de NPR en función de la resistividad del terreno aparecen en la gráfica 7.2.1



Gráfica 7.2 Longitud del electrodo en disposición horizontal para los diferentes NPR

## 7.3 Separación de conductores bajantes

La IEC 62305 establece que cuando se tienen postes o mástiles es suficiente con que tengan una sola bajante sin embargo cuando se tienen sistemas que no son aislados como en el caso de los postes y mástiles el número de conductores bajantes no debe ser inferior a 2 y debe estar distribuido por el perímetro de la estructura a proteger sujeto a restricciones prácticas y arquitectónicas procurando distribuir simétricamente las bajantes alrededor de la estructura a proteger. En la tabla 7.3 se muestran las distancias típicas promedio de conductores bajantes dependiendo del nivel de protección.

Tipo de Nivel de Protección	Distancia Típica Promedio [m]
I	10
II	10
III	15
IV	20

Tabla 7.3 Distancia típica promedio de conductores bajantes

## 7.4 Planos entregados

Siguiendo los parámetros de diseño definidos en el presente documento se realizaron los planos 114-24-01-001 y 114-24-01-002. En el plano 114-24-01-001 se tiene la vista de planta del proyecto donde se ubican las puntas captadoras, conductores bajantes, electrodos de puesta a tierra y el área de protección. Con respecto al plano 114-24-01-002 se tienen cortes de la vista de planta en donde se evidencia el área protegida conforme al método de la esfera rodante y la ubicación de las puntas captadoras necesarias para lograr el apantallamiento.

## 8 CONCLUSIONES

Los valores de riesgos asociados a las pérdidas de vidas humanas, pérdida inaceptable del servicio público, pérdida del valor cultural y pérdidas económicas para las estructuras de la planta son:

- Pérdidas de vidas humanas  $R= 0.0843$
- Pérdida inaceptable del servicio público  $R= 0.0033$
- Pérdida del valor cultural irremplazable  $R = 0$
- Pérdidas económicas  $R= 0.2811$

El nivel de protección contra rayo seleccionado (NPR) es IV y los valores de riesgo para cada una de las diferentes tipos de pérdidas son :

- Pérdidas de vidas humanas  $R= 0.0021$
- Pérdida inaceptable del servicio público  $R= 5.37 \times 10^{-5}$
- Pérdida del valor cultural irremplazable  $R = 0$
- Pérdidas económicas  $R= 0.0038$

Aplicando un NPR de IV las reducciones porcentuales para cada una de las diferentes tipos de pérdidas son:

- Pérdidas de vidas humanas disminución de 98%
- Pérdida inaceptable del servicio público disminución de 98%
- Pérdida del valor cultural irremplazable disminución de 0 %
- Pérdidas económicas disminución de 99%

De acuerdo al NPR seleccionado (IV) el radio de la esfera rodante para el apantallamiento debe ser como máximo de 55 metros sin embargo se adopta un radio de 35m para tener una mayor protección del apantallamiento.

En el sistema de protección externo el número de bajantes no debe ser inferior a dos salvo en postes o mástiles donde se permite una sola bajante. En el primer caso se debe instalar una bajante en cada esquina expuesta del edificio estando sujeto a restricciones prácticas y arquitectónicas. Las distancias típicas de separación promedio de conductores debe ser de 20 m según IEC 62305.

En el sistema de puesta tierra del sistema de protección contra rayos los electrodos estarán en disposición vertical por lo que su longitud debe ser como mínimo de 2.5m y los electrodos especificados para el proyecto tienen una longitud de 3m.