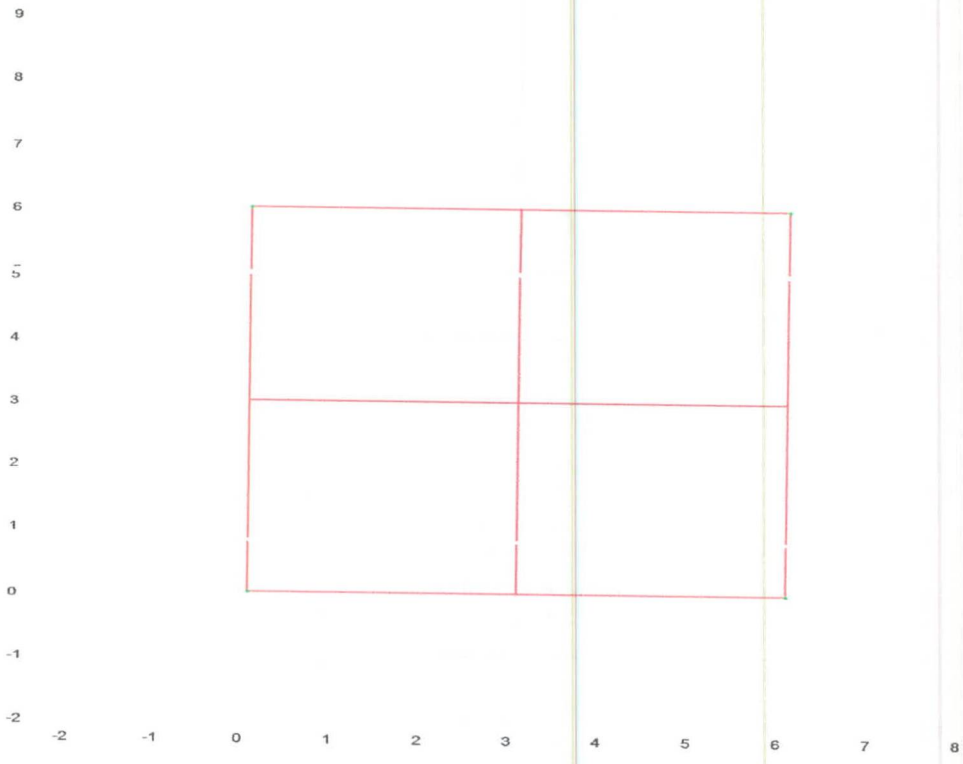
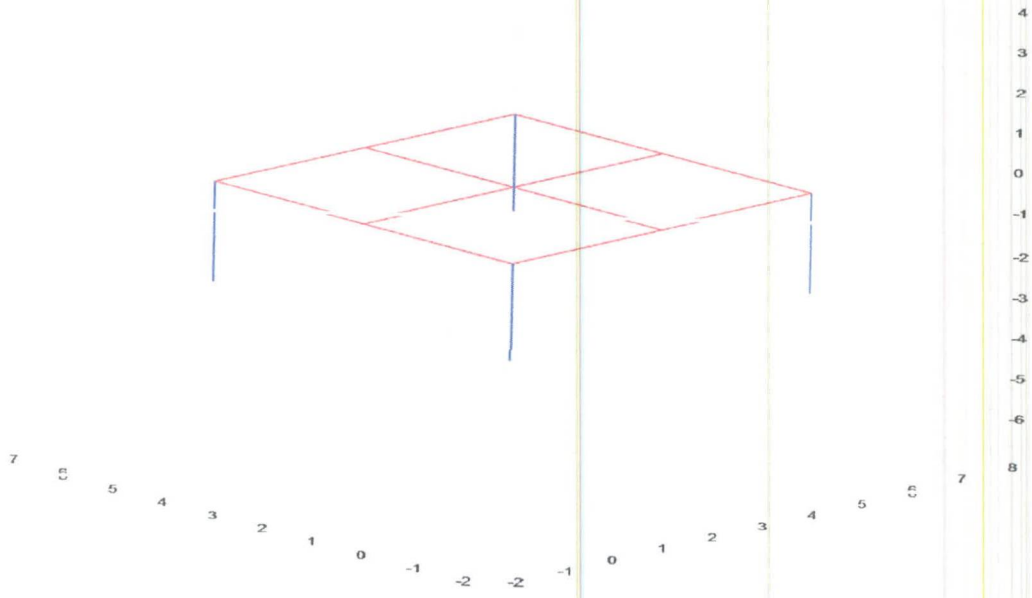
Malla

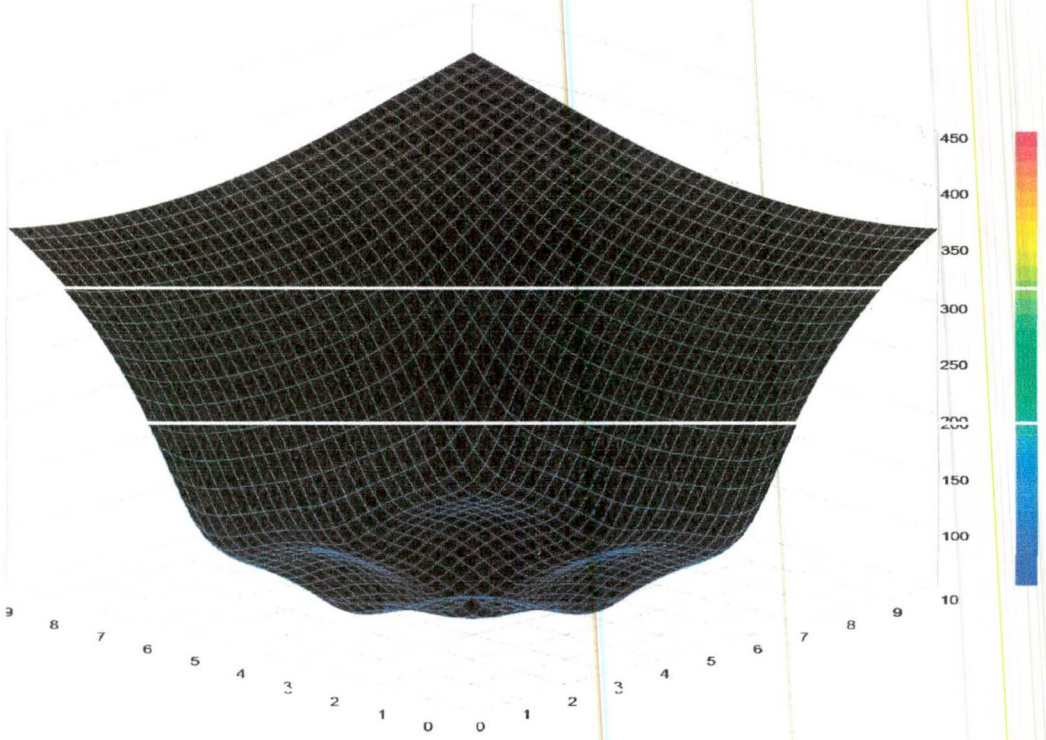


Vista 3D de la malla

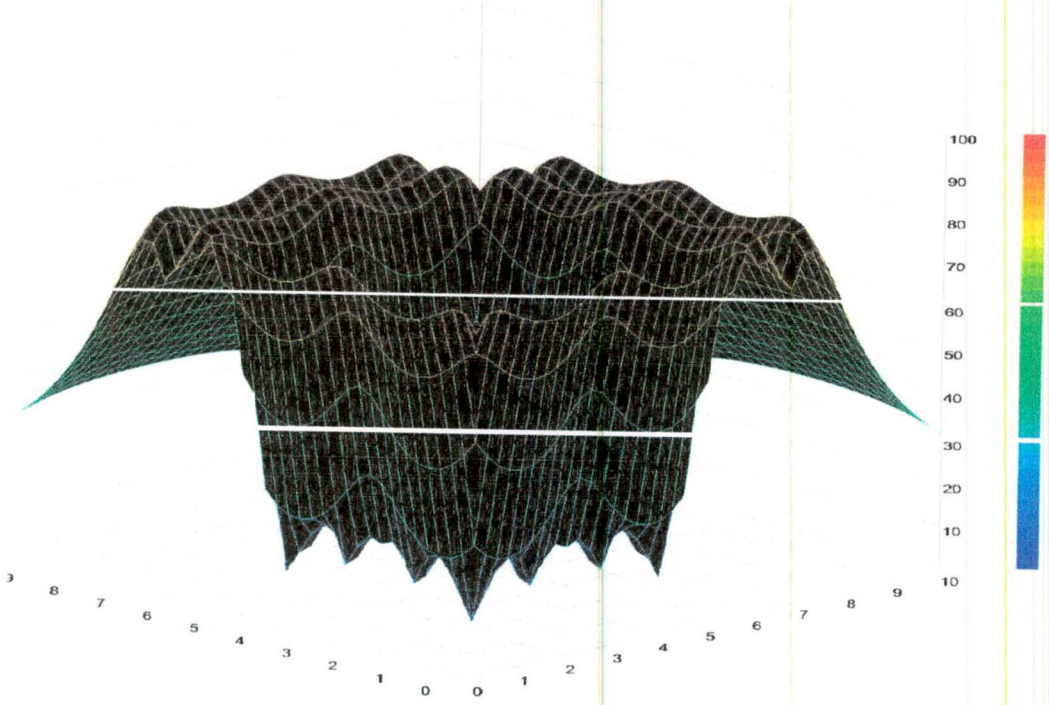


1604

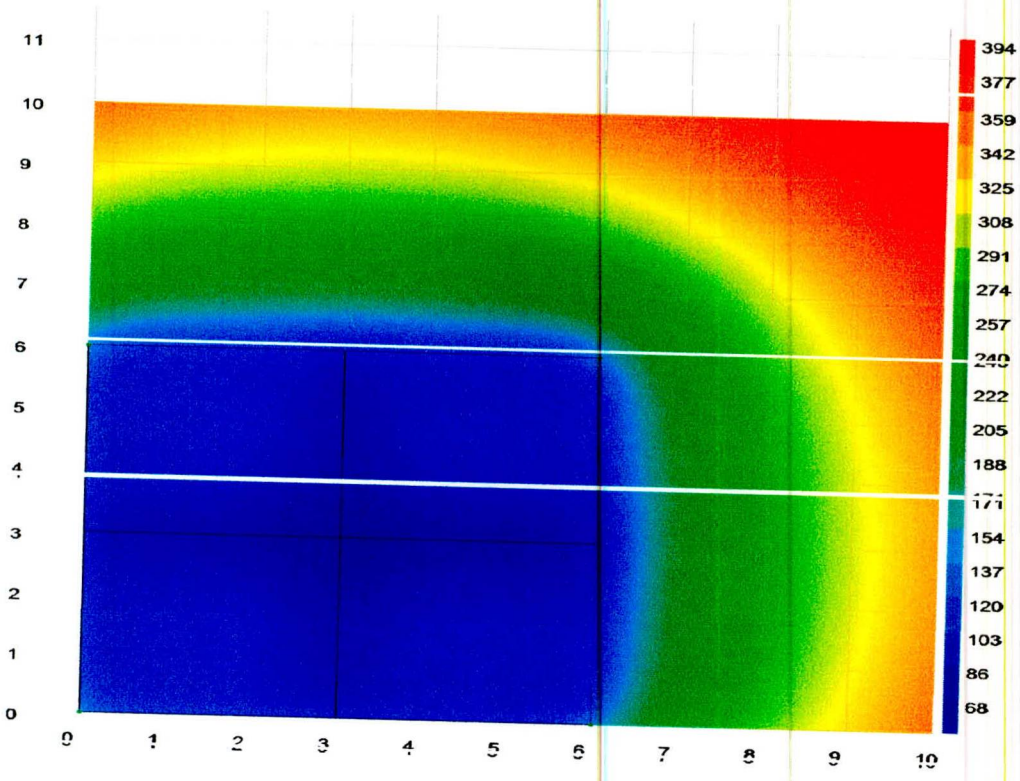
Tensión de toque (V)



Tensión de paso (V)

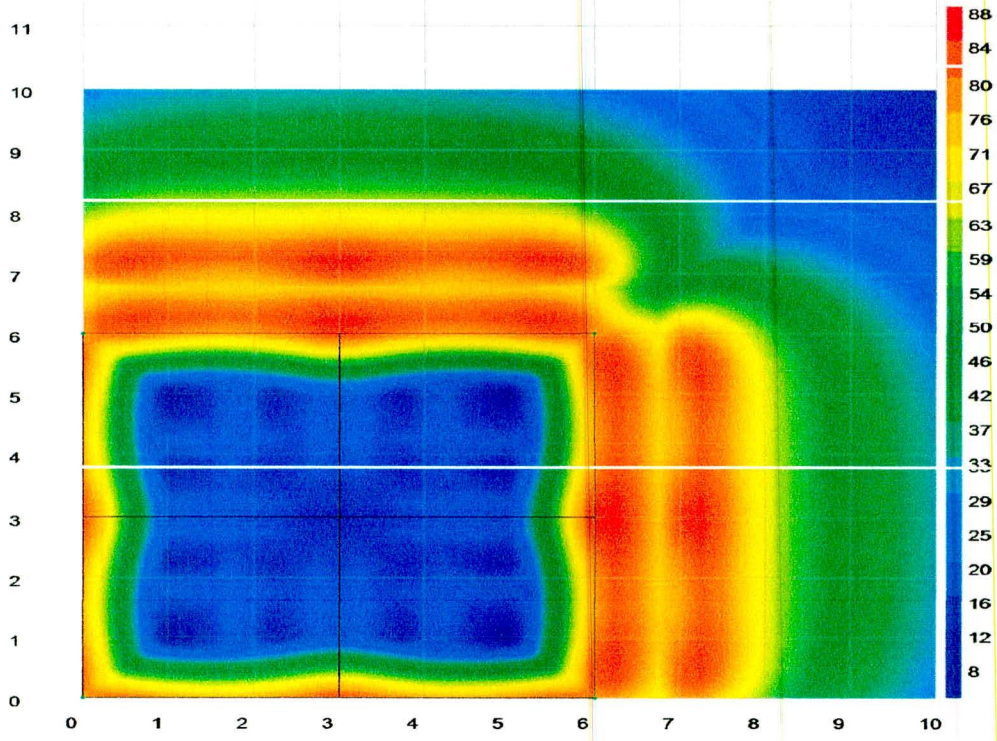


Tensión de toque 2D (V)



1697

Tensión de paso 2D (V)



Resistividad (Ωm)

No	Símbolo	Propiedades	Valor
1	ROMAX	Resistividad máxima (Ωm)	0
2	ROMIN	Resistividad mínima (Ωm)	0
3	ROAVG	Resistividad promedio (Ωm)	0
4	ROSTDEV	Desviación estándar de la resistividad (Ωm)	0
5	ROSTDEVP	Desviación estándar de la resistividad (%)	0
6	RO70	Resistividad con el 70% de probabilidad de no ser superada (Ωm)	0
7	(ROMAX +ROMIN)/2	Resistividad promedio entre los valores máximo y mínimo (Ωm)	0
8	RO1	Resistividad de la capa superior (Ωm)	0
9	RO2	Resistividad de la capa inferior (Ωm)	0
10	h	Espesor de la capa superior (m)	0

Conductores

Nombre	X1(m)	Y1(m)	X2(m)	Y2(m)	h(m)	R(m)	A(mm²)
New Conductor	0.00	0.00	6.00	0.00	0.75	0.005315	88.75
New Conductor	0.00	3.00	6.00	3.00	0.75	0.005315	88.75
New Conductor	0.00	6.00	6.00	6.00	0.75	0.005315	88.75
New Conductor	0.00	0.00	0.00	6.00	0.75	0.005315	88.75
New Conductor	3.00	0.00	3.00	6.00	0.75	0.005315	88.75
New Conductor	6.00	0.00	6.00	6.00	0.75	0.005315	88.75

Varillas

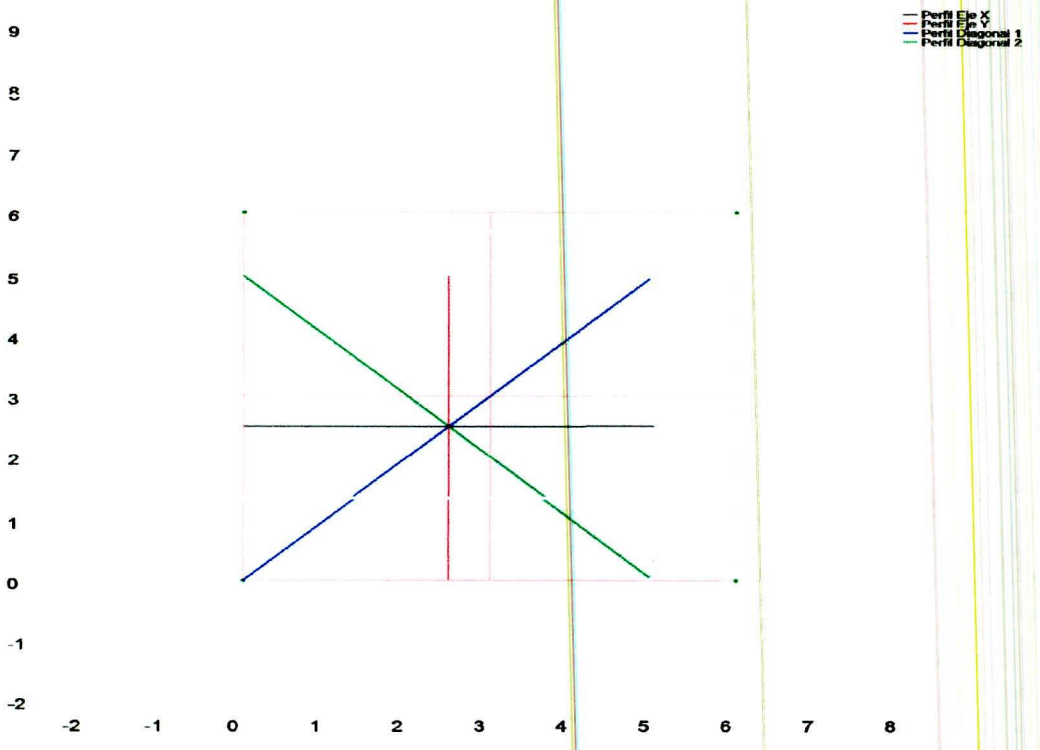
Nombre	X(m)	Y(m)	L(m)	h(m)	R(m)	D(mm)
0-0	0.00	0.00	2.4	0.75	0.00714	14.28
0-6	0.00	6.00	2.4	0.75	0.00714	14.28
6-0	6.00	0.00	2.4	0.75	0.00714	14.28
6-6	6.00	6.00	2.4	0.75	0.00714	14.28

Selección del conductor

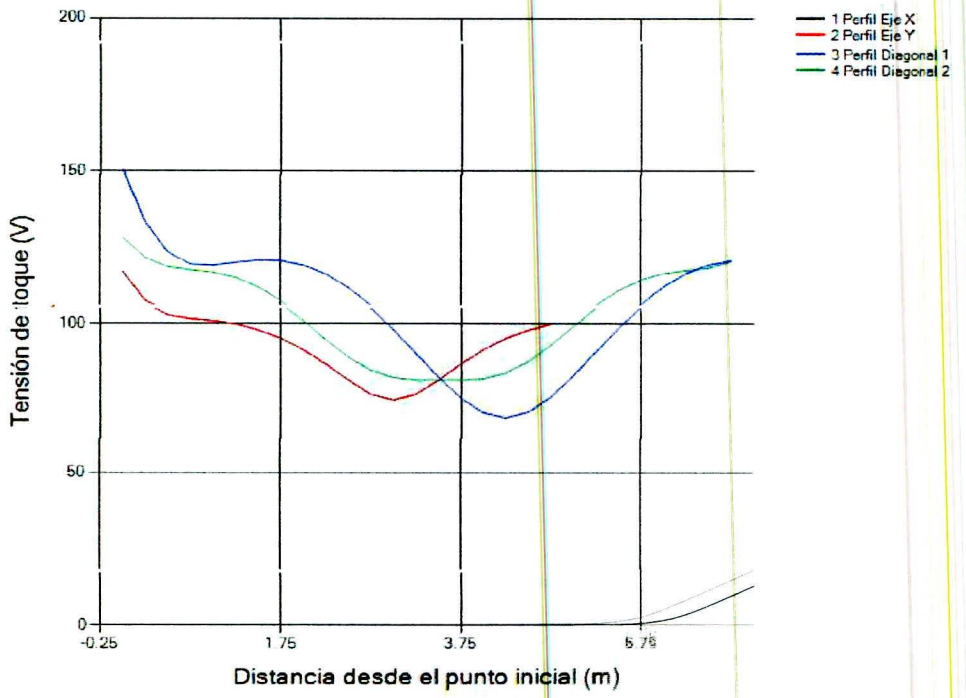
Descripción	Cobre blando recocido
Conductividad del material (%IACS)	100
Factor αr a 20 °C (1/°C)	0.00393
K0 a 0 °C(0°C)	234
Temperatura de fusión Tm (°C)	0
Resistividad a 20 °C pr (μΩ cm)	1.72

1609

Planta de la malla y de los perfiles

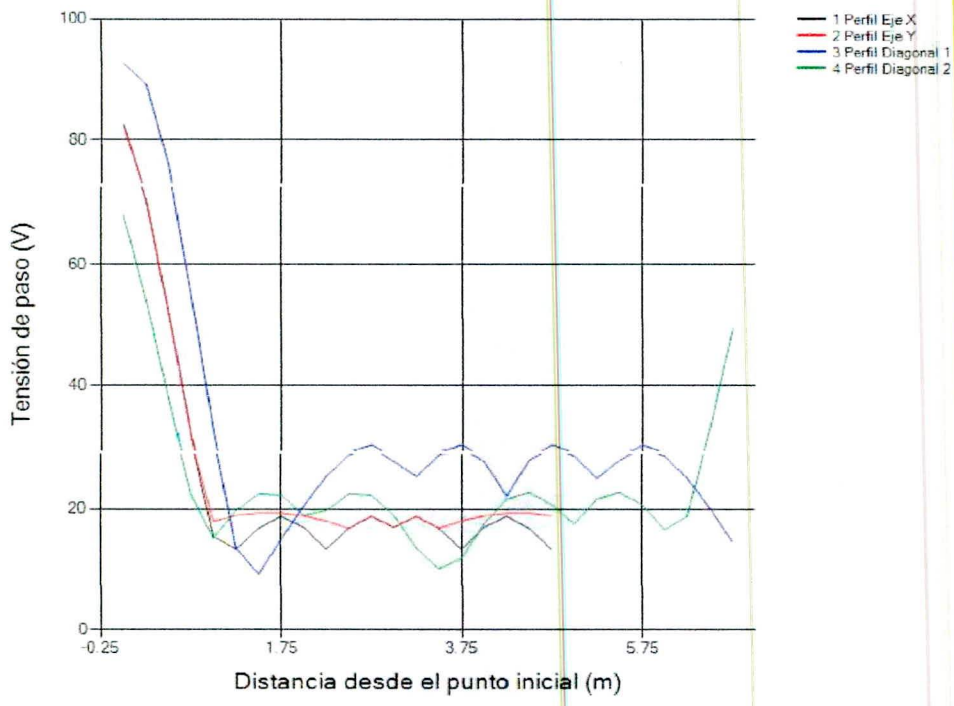


Perfiles de Tensión de Toque



1610

Perfiles de Tensión de Paso



Resultados

No	Símbolo	Propiedades	Valor
1	IF	Máxima corriente de falla a tierra (A)	1529
2	IG	Corriente a través de la malla (A)	[illegible]
3	β	Contribución remota de corriente (%)	[illegible]
4	ρ1	Resistividad de la capa superior (Ωm)	[illegible]
5	ρ2	Resistividad de la capa inferior (Ωm)	30
6	H	Espesor de la capa superior (m)	0.3
7	ρs	Resistividad de la capa de gravilla (Ωm)	2000
8	hs	Espesor de la capa de gravilla (m)	0.2
9	Cs	Factor de reducción de capa superficial	0.822
10	tf	Duración de la falla (s)	0.15
11	f	Frecuencia del sistema (Hz)	60
12	Sf	Factor de division de corriente Sf	0.2
13	Zt	Impedancia del cuerpo (Ω)	1000
14	Lc	Longitud total del conductor (m)	36
15	NR	Número total de varillas	4

16	Rg	Resistencia de la malla (Ω)	1.84
17	EPR	Elevación del potencial de tierra GPR (V)	562.75
18	Et70	Tensión de toque tolerable – persona de 70 kg (V)	1404.82
19	Et50	Tensión de toque tolerable – persona de 50 kg (V)	1037.96
20	Em	Tensión de malla (V)	410.81
21	Evaluación	Et50 > Em Para Em el diseño es adecuado	
22	Es70	Tensión de paso tolerable – persona de 70 kg (V)	4403.17
23	Es50	Tensión de paso tolerable – persona de 50 kg (V)	3253.3
24	Es	Tensión de paso (V)	92.7
25	Evaluación	Es50 > Es Para Es el diseño es adecuado	

Comentarios

EVALUACION DE RIESGO DE DAÑOS POR DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS

IEC 62305-2 Ed. 2.0 PROTECTION AGAINST LIGHTNING – Part 2: Risk management

CÁLCULO DEL RIESGO

PROYECTO: PARQUE ARQUEOLOGICO HACIENDA EL CARMEN TAQUILLA 1

RESUMEN

Localización: Bogota D.C. **DDT (rayos/km2-año):** 4

Dimensiones de estructura bajo análisis: Longitud L (m): 34

Ancho W (m): 15

Altura H (m): 6

Protección al fuego consideradas en la estructura:
Una de las siguientes prevenciones: Extintores manuales, instalaciones de alarme manual, hidrantes, compartimientos contra fuego, rutas de evacuación

Riesgo de fuego de la estructura: Ordinario

Línea de alimentación eléctrica de la estructura:
Media tensión, subterránea, 300m aproximadamente

Riesgo especial: Se considera la probabilidad que haya una persona con discapacidad o inmovilizada

Sistema coordinado de protección interno adoptado con DPS: Sin sistema coordinado de protección

Previsión tensiones de paso y contacto: Avisos y equipotencialización efectiva del suelo

NOTA: Los demás criterios considerados en este análisis se pueden consultar en el reporte de análisis de riesgo

RESUMEN RESULTADOS

Riesgo representativo tolerable R_T	Riesgo calculado R_X sin medidas de protección	Riesgo calculado R_X con medidas de protección proyectadas	Medidas de protección proyectadas
Afectación a personas R_1			
1,0E-05	2,57E-06	N.A	No se requiere sistema de protección contra rayos externo
Pérdidas Económicas R_4			
1,00E-03	4,25E-05	N.A	El riesgo de pérdidas económicas es menor que el valor de riesgo tolerable

EVALUACION DE RIESGO DE DAÑOS POR DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS

IEC 62305-2 Ed. 2.0 PROTECTION AGAINST LIGHTNING – Part 2: Risk management

PROYECTO: PARQUE ARQUEOLOGICO HACIENDA EL CARMEN TAQUILLA 1

CÁLCULO DEL RIESGO

CONDICIONES ACTUALES (SIN MEDIDAS DE PROTECCIÓN ADICIONALES)

R1: RIESGO DE PÉRDIDA DE VIDAS HUMANAS

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{U1} + R_{V1} \quad (1)$$

R_{A1} Riesgo de lesiones a personas por tensiones de paso o de contacto a causa de impactos directos de rayo en la estructura

$$R_{A1} = N_D \times P_A \times L_A \quad (6)$$

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \quad (A.4)$$

N_D = Número de eventos peligrosos debido a impactos directos en la estructura

N_G = DRT seleccionada

N_G = 4 rayos/km^2-año

A_D = Area colectora asociada al edificio completo

$$A_D = L \times W + 2x(3 \times H) \times (L+W) + \pi \times (3xH)^2 \quad (A.2)$$

L= 34 metros

W= 15 metros

H= 6 metros

Por tanto

A_D = 3291,9 m^2

C_D = Factor de localización

C_D = 1 (Tabla A.1)

Por tanto,

N_D = 0,0131675 rayos-año

Table A.1 – Structure location factor C_D

Relative location	C_D
Structure surrounded by higher objects	0,25
Structure surrounded by objects of the same height or smaller	0,5
Isolated structure: no other objects in the vicinity	1
Isolated structure on a hilltop or a knoll	2

$$P_A = P_{TA} \times P_B \quad (B.1)$$

P_A = Probabilidad de lesiones a personas por tensiones de paso o de contacto debidas a impactos directos en la estructura

P_{TA} = Medidas de protección adicionales frente a tensiones de paso y de contacto

P_{TA} = 1,E-03 (Tabla B.1)

P_B = Nivel del sistema de protección contra rayos

P_B = 1 (Tabla B.2)

Por tanto,

$\mathbf{P_A}$ = 0,001

Table B.1 – Values of probability P_{TA} that a flash to a structure will cause shock to living beings due to dangerous touch and step voltages

Additional protection measure	P_{TA}
No protection measures	1
Warning notices	10^{-1}
Electrical insulation (e.g. at least 3 mm cross-linked polyethylene) of exposed parts (e.g. down-conductors)	10^{-2}
Effective soil equipotentialization	10^{-2}
Physical restrictions or building framework used as a down-conductor system	0

Table B.2 – Values of probability P_B depending on the protection measures to reduce physical damage

Characteristics of structure	Class of LPS	P_B
Structure not protected by LPS	–	1
Structure protected by LPS	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Structure with an air-termination system conforming to LPS I and a continuous metal or reinforced concrete framework acting as a natural down-conductor system		0,01
Structure with a metal roof and an air-termination system, possibly including natural components, with complete protection of any roof installations against direct lightning strikes and a continuous metal or reinforced concrete framework acting as a natural down-conductor system		0,001

$\mathbf{L_A} = r_t \times L_T \times n_Z/n_t \times t_z / 8760$

$\mathbf{L_A}$ = Pérdida relacionada con lesiones a personas por tensiones de paso o de contacto por impactos de rayos en la estructura

r_t = Es el factor de reducción de afectación a personas relacionado con el tipo de suelo o terreno

r_t = 1,00E-02 (Tabla C.3)

L_T = Valor promedio típico relativo de personas afectadas por tensiones de paso o de contacto a causa impactos en la estructura

L_T = 2,00E-02 (Tabla C.2)

n_z/n_t = número de personas en la zona / número de personas en las instalaciones

n_z/n_t = 80%

t_Z = Tiempo de ocupación horas-año en el cual hay personas presentes en la zona

$t_Z/8760$ = 100%

Por tanto,

$\mathbf{L_A}$ = 1,60E-04

Table C.3 – Reduction factor r_t as a function of the type of surface of soil or floor

Type of surface[a]	Contact resistance k Ω[a]	r_t
Agricultural, concrete	≤ 1	10^{-2}
Marble, ceramic	1 – 10	10^{-3}
Gravel, moquette, carpets	10 – 100	10^{-4}
Asphalt, linoleum, wood	≥ 100	10^{-5}

[a] Values measured between a 400 cm² electrode compressed with a uniform force of 500 N and a point of infinity.

[b] A layer of insulating material, e.g. asphalt, of 5 cm thickness (or a layer of gravel 15 cm thick) generally reduces the hazard to a tolerable level.

Table C.2 – Type of loss L1: Typical mean values of L_T, L_F and L_O

Type of damage	Typical loss value		Type of structure
D1 Injuries	L_T	10^{-2}	All types
D2 physical damage	L_F	10^{-1}	Risk of explosion
		10^{-1}	Hospital, hotel, school, civic building
		5×10^{-2}	Public entertainment, church, museum
		2×10^{-2}	Industrial, commercial
		10^{-2}	Others
D3 failure of internal systems	L_O	10^{-1}	Risk of explosion
		10^{-2}	Intensive care unit and operation block of hospital
		10^{-3}	Other parts of hospital

Por tanto,

R_{A1} = 2,10E-09

R_{B1} Riesgo por daño físico (incendio o explosión) debido a chispas peligrosas a causa de impactos directos de rayo en la estructura

$$R_{B1} = N_D \times P_B \times L_B \quad (7)$$

N_D = 0,01 rayos-año

P_B = 1 (Tabla B.2)

$L_B = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_Z/n_t \times t_Z/8760$ (C.3)

L_B = Pérdidas en la estructura relacionadas con daños físicos por impactos de rayos en esta

r_p = Factor de reducción de pérdidas debido a los daños físicos por medidas que se adopten ante las afectaciones por fuego

r_p = 0,50 (Tabla C.4)

r_f = Factor de reducción de pérdidas debido a los daños físicos dependiendo el riesgo de incendio evidente

r_f = 1,00E-02 (Tabla C.5)

h_z = Factor de incremento de pérdidas a causa de daños físicos cuando un peligro especial está presente

h_z = 2,00E+00 (Tabla C.6)

L_f = Valor promedio típico relativo de los bienes afectados por daño físico debido a un evento perjudicial

L_F = 1,00E-02 (Tabla C.2)

n_z/n_t = número de personas en la zona / número de personas en las instalaciones

n_z/n_t = 80%

t_Z = Tiempo de ocupación horas-año en el cual hay personas presentes en la zona

$t_Z/8760$ = 100%

Por tanto,

L_B = 7,98E-05

Table C.4 – Reduction factor r_p as a function of provisions taken to reduce the consequences of fire

Provisions	r_p
No provisions	1
One of the following provisions: extinguishers; fixed manually operated extinguishing installations; manual alarm installations; hydrants; fire compartments; escape routes	0,5
One of the following provisions: fixed automatically operated extinguishing installations; automatic alarm installations*	0,2
* Only if protected against overvoltages and other damages and if firemen can arrive in less than 10 min.	

Table C.5 – Reduction factor r_f as a function of risk of fire or explosion of structure

Risk	Amount of risk	r_f
Explosion	Zones 0, 20 and solid explosive	1
	Zones 1, 21	10^{-1}
	Zones 2, 22	10^{-3}
Fire	High	10^{-1}
	Ordinary	10^{-2}
	Low	10^{-3}
Explosion or fire	None	0

Table C.6 – Factor h_z increasing the relative amount of loss in presence of a special hazard

Kind of special hazard	h_z
No special hazard	1
Low level of panic (e.g. a structure limited to two floors and the number of persons not greater than 100)	2
Average level of panic (e.g. structures designed for cultural or sport events with a number of participants between 100 and 1 000 persons)	5
Difficulty of evacuation (e.g. structures with immobile persons, hospitals)	5
High level of panic (e.g. structures designed for cultural or sport events with a number of participants – greater than 1 000 persons)	10

Por tanto,

$\mathbf{R_{B1}}$ = 1,05E-06

R_{U1} Riesgo de lesiones a personas por tensiones de paso o de contacto a causa de impactos directos de rayo en las líneas de alimentación eléctrica

$$\mathbf{R_{U1} = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U} \quad (10)$$

$$\mathbf{N_L} = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (A.8)$$

$\mathbf{N_L}$ = Promedio anual de descargas sobre las líneas de servicio de alimentación eléctrica

N_G = DRT seleccionada

$\mathbf{N_G}$ = 4 **rayos/km^2-año**

A_L = Área efectiva de descargas en las líneas de alimentación eléctrica

$$A_L = 40 \times L_L \quad (A.9)$$

L_L = Longitud de la sección de la línea de alimentación eléctrica en estudio

$\mathbf{L_L}$ = 300 metros

Por tanto,

A_L = 12000,0 m^2

C_I = Factor de instalación de las líneas de alimentación eléctrica

C_I = 0,50 (Tabla A.2)

C_E = Factor ambiental respecto a las líneas de alimentación eléctrica

C_E = 1,00 (Tabla A.4)

C_T = Factor del tipo de las líneas de alimentación eléctrica

C_T = 0,20 (Tabla A.3)

Por tanto,

$\mathbf{N_L}$ = 4,80E-03

Table A.2 – Line installation factor C_I

Routing	C_I
Aerial	1
Buried	0,5
Buried cables running entirely within a meshed earth termination (5.2 of IEC 62305-4:2010).	0,01

Table A.4 – Line environmental factor C_E

Environment	C_E
Rural	1
Suburban	0,5
Urban	0,1
Urban with tall buildings*	0,01
* Buildings higher than 20 m.	

Table A.3 – Line type factor C_T

Installation	C_T
LV power, telecommunication or data line	1
HV power (with HV/LV transformer)	0,2

$\mathbf{N_{DJ}} = N_G \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6}$ (A.5)

$\mathbf{N_{DJ}}$ = Promedio anual de descargas sobre estructuras conectadas al extremo opuesto de las líneas de servicio de alimentación eléctrica

N_G = DRT seleccionada

N_G = 4 rayos/km^2-año

A_{DJ} = Area colectora asociada a la estructura de soporte de la acometida

$A_{DJ} = L \times W + 2x(3 \times H) \times (L+W) + \pi \times (3xH)^2$ (A.2)

L= 0,05 metros

W= 0,05 metros

H= 10 metros

Por tanto

A_{DJ} = 2833,4 m^2

C_{DJ} = Factor de localización

C_{DJ} = 1 (Tabla A.1)

C_T = Factor del tipo de las líneas de alimentación eléctrica

C_T = 2,00E-01 (Tabla A.3)

Por tanto,

$\mathbf{N_{DJ}}$ = 2,27E-03

$\mathbf{P_U} = P_{TU} \times P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD}$ (B.8)

P_U = Probabilidad de lesiones a personas por tensiones de paso o de contacto debidas a impactos directos en las líneas de alimentación eléctrica de la estructura

P_{TU} = Factor de las medidas de protección ante tensiones de paso o de contacto (restricciones físicas, avisos de precaución)

P_{TU} = 1,E-01 (Tabla B.6)

P_{EB} = Valor relacionado a los DPS implementados en el sistema en función del nivel de protección contra rayos.

P_{EB} = 1 (Tabla B.7)

P_{LD} = Probabilidad de fallas en los sistemas internos conectados a las líneas de alimentación eléctrica, relacionadas con las características de las líneas

P_{LD} = 1 (Tabla B.8)

C_{LD} = Valor relacionado con las condiciones del apantallamiento, puesta a tierra y aislamiento de las líneas de alimentación eléctrica

C_{LD} = 1 (Tabla B.4)

Por tanto,

$\mathbf{P_U}$ = 0,1000

Table B.6 – Values of probability P_{TU} that a flash to an entering line will cause shock to living beings due to dangerous touch voltages

Protection measure	P_{TU}
No protection measures	1
Warning notices	10^{-1}
Electrical insulation	10^{-2}
Physical restrictions	0

Table B.7 – Value of the probability P_{EB} as a function of LPL for which SPDs are designed

LPL	P_{EB}
No SPD	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTE 3	0,005 – 0,001

Table B.8 – Values of the probability P_{LD} depending on the resistance R_S of the cable screen and the impulse withstand voltage U_W of the equipment

Line type	Routing, shielding and bonding conditions		Withstand voltage U_W in kV				
			1	1,5	2,5	4	6
Power lines or Telecom lines	Aerial or buried line, unshielded or shielded whose shield is not bonded to the same bonding bar as equipment		1	1	1	1	1
	Shielded aerial or buried whose shield bonded to the same bonding bar as equipment	5Ω/km < R_S ≤ 20 Ω/km	1	1	0,95	0,9	0,8
		1Ω/km < R_S ≤ 5 Ω/km	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		R_S ≤ 1 Ω/km	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

Table B.4 – Values of factors C_{LD} and C_{LI} depending on shielding, grounding and isolation conditions

External line type	Connection at entrance	C_{LD}	C_{LI}
Aerial line unshielded	Undefined	1	1
Buried line unshielded	Undefined	1	1
Multi grounded neutral power line	None	1	0,2
Shielded buried line (power or TLC)	Shield not bonded to the same bonding bar as equipment	1	0,3
Shielded aerial line (power or TLC)	Shield not bonded to the same bonding bar as equipment	1	0,1
Shielded buried line(power or TLC)	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	1	0
Shielded aerial line (power or TLC)	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	1	0
Lightning protective cable or wiring in lightning protective cable ducts, metallic conduit, or metallic tubes	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	0	0
(No external line)	No connection to external lines (stand-alone systems)	0	0
Any type	Isolating interface according to IEC 62305-4	0	0

$L_U = r_t \times L_T \times n_Z/n_t \times t_Z/8760$ (C.2)

L_U = Pérdidas en la estructura relacionadas con daños físicos por impactos de rayos en esta

r_t = Es el factor de reducción de afectación a personas relacionado con el tipo de suelo o terreno

r_t = 1,00E-02 (Tabla C.3)

L_T = Es el número promedio típico realativo de personas afectadas por tensiones de paso o de contacto a causa impactos en las líneas de alimentación eléctrica

L_T = 2,00E-02 (Tabla C.2)

n_z/n_t = número de personas en la zona / número de personas en las instalaciones

n_z/n_t = 80%

t_Z = Tiempo de ocupación horas-año en el cual hay personas presentes en la zona

$t_Z/8760$ = 100%

Por tanto,

L_U = 1,60E-04

Por tanto,

R_{U1} = 1,13E-07

R_{V1} Riesgo de lesiones a personas por daños físicos a causa de impactos directos de rayo en las líneas de alimentación eléctrica

$R_{V1} = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$ (10)

N_L = 4,80E-03

N_{DJ} = 2,27E-03

$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD}$ (B.8)

P_V = Probabilidad de afectación por daños físicos debido a impactos directos en las líneas de alimentación eléctrica de la estructura

P_{EB} = Valor relacionado a los DPS implementados en el sistema en función del nivel de protección contra rayos.

P_{EB} = 1 (Tabla B.7)

P_{LD} = Probabilidad de fallas en los sistemas internos conectados a las líneas de alimentación eléctrica, relacionadas con las características de las líneas

P_{LD} = 1 (Tabla B.8)

C_{LD} = Valor relacionado con las condiciones del apantallamiento, puesta a tierra y aislamiento de las líneas de alimentación eléctrica

C_{LD} = 1 (Tabla B.4)

Por tanto,

$\mathbf{P_V}$ = 1,00

$\mathbf{L_V} = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_Z/n_t \times t_Z/8760$ (C.3)

$\mathbf{L_V}$ = Pérdidas en la estructura relacionadas con daños físicos por impactos de rayos en las líneas de alimentación eléctrica de esta

r_p = Factor de reducción de pérdidas debido a los daños físicos por medidas que se adopten ante las afectaciones por fuego

r_p = 5,00E-01 (Tabla C.4)

r_f = Factor de reducción de pérdidas debido a los daños físicos dependiendo el riesgo de incendio evidente

r_f = 1,00E-02 (Tabla C.5)

h_z = Factor de incremento de pérdidas a causa de daños físicos cuando un peligro especial está presente

h_Z = 5,00E+00 (Tabla C.6)

L_f = Valor medio típico relativo de los bienes afectados por daño físico debido a un evento perjudicial

L_F = 1,00E-02 (Tabla C.2)

n_z/n_t = número de personas en la zona / número de personas en las instalaciones

n_z/n_t = 80%

t_Z = Tiempo de ocupación horas-año en el cual hay personas presentes en la zona

$t_Z/8760$ = 100%

Por tanto,

$\mathbf{L_V}$ = 1,99E-04

Por tanto,

$\mathbf{R_{V1}}$ = 1,41E-06

Por tanto,

$\mathbf{R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{U1} + R_{V1}}$

$\mathbf{R_1}$ = 2,57E-06 $\mathbf{R_T = 1,0E-05}$

EN LAS CONDICIONES CONSIDERADAS, SE LOGRA UN VALOR TAL QUE EL RIESGO DE PERDIDA DE VIDAS O LESIONES A PERSONAS DEBIDO A DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS ES MENOR QUE EL VALOR DE RIESGO TOLERABLE

EVALUACION DE RIESGO DE DAÑOS POR DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS

IEC 62305-2 Ed. 2.0 PROTECTION AGAINST LIGHTNING – Part 2: Risk management

PROYECTO: PARQUE ARQUEOLOGICO HACIENDA EL CARMEN TAQUILLA 1

CÁLCULO DEL RIESGO

CONDICIONES ACTUALES (SIN MEDIDAS DE PROTECCIÓN ADICIONALES)

R4: RIESGO DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS

$$R_4 = R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (4)$$

R_{B4} Riesgo por daño físico (incendio o explosión) debido a chispas peligrosas a causa de impactos directos de rayo en la estructura

$$R_{B4} = N_D \times P_B \times L_B \quad (7)$$

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \quad (A.4)$$

N_D = Número de eventos peligrosos debido a impactos directos en la estructura

N_G = DRT seleccionada

N_G = 4,00 **rayos/km^2-año**

A_D = Area colectora asociada al edifcio completo

$$A_D = L \times W + 2x(3 \times H) \times (L+W) + \pi \times (3xH)^2 \quad (A.2)$$

Largo	L=	34	metros
Ancho	W=	15	metros
Alto	H=	6	metros

Por tanto

A_D = 3291,9 m^2

C_D = Factor de localización

C_D = 1 (Tabla A.1)

Por tanto,

N_D = 0,0131675 rayos-año

Table A.1 – Structure location factor C_D

Relative location	C_D
Structure surrounded by higher objects	0,25
Structure surrounded by objects of the same height or smaller	0,5
Isolated structure: no other objects in the vicinity	1
Isolated structure on a hilltop or a knoll	2

P_B = Nivel del sistema de protección contra rayos

P_B = 1 (Tabla B.2)

Table B.2 – Values of probability P_B depending on the protection measures to reduce physical damage

Characteristics of structure	Class of LPS	P_B
Structure not protected by LPS	–	1
Structure protected by LPS	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Structure with an air-termination system conforming to LPS I and a continuous metal or reinforced concrete framework acting as a natural down-conductor system		0,01
Structure with a metal roof and an air-termination system, possibly including natural components, with complete protection of any roof installations against direct lightning strikes and a continuous metal or reinforced concrete framework acting as a natural down-conductor system		0,001

***Un sistema de protección contra rayos existente sin diseño y estudios previos no se considera**

$L_B = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_Z/n_t \times t_Z/8760$ (C.3)

L_B = Pérdidas en la estructura relacionadas con daños físicos por impactos de rayos en esta

r_p = Factor de reducción de pérdidas debido a los daños físicos por medidas que se adopten ante las afectaciones por fuego

r_p = 5,00E-01 (Tabla C.4)

r_f = Factor de reducción de pérdidas debido a los daños físicos dependiendo el riesgo de incendio evidente

r_f = 1,00E-02 (Tabla C.5)

h_z = Factor de incremento de pérdidas a causa de daños físicos cuando un peligro especial está presente

h_Z = 2 (Tabla C.6)

L_f = Valor medio típico relativo de los bienes afectados por daño físico debido a un evento perjudicial

L_F = 1,00E-02 (Tabla C.2)

n_z/n_t = valor del patrimonio arquitectónico / valor total de la estructura y su contenido

n_z/n_t = 80%

t_Z = Tiempo en horas al año en el cual hay personas presentes en la zona

$t_Z/8760$ = 100%

Por tanto,

L_B = 7,98E-05

Table C.4 – Reduction factor r_p as a function of provisions taken to reduce the consequences of fire

Provisions	r_p
No provisions	1
One of the following provisions: extinguishers; fixed manually operated extinguishing installations; manual alarm installations; hydrants; fire compartments; escape routes	0,5
One of the following provisions: fixed automatically operated extinguishing installations; automatic alarm installations*	0,2
* Only if protected against overvoltages and other damages and if firemen can arrive in less than 10 min.	

Table C.5 – Reduction factor r_f as a function of risk of fire or explosion of structure

Risk	Amount of risk	r_f
Explosion	Zones 0, 20 and solid explosive	1
	Zones 1, 21	10^{-1}
	Zones 2, 22	10^{-3}
Fire	High	10^{-1}
	Ordinary	10^{-2}
	Low	10^{-3}
Explosion or fire	None	0

Table C.6 – Factor h_z increasing the relative amount of loss in presence of a special hazard

Kind of special hazard	h_z
No special hazard	1
Low level of panic (e.g. a structure limited to two floors and the number of persons not greater than 100)	2
Average level of panic (e.g. structures designed for cultural or sport events with a number of participants between 100 and 1 000 persons)	5
Difficulty of evacuation (e.g. structures with immobile persons, hospitals)	5
High level of panic (e.g. structures designed for cultural or sport events with a number of participants – greater than 1 000 persons)	10

Table C.2 – Type of loss L1: Typical mean values of L_T, L_F and L_O

Type of damage	Typical loss value		Type of structure
D1 injuries	L_T	10^{-2}	All types
D2 physical damage	L_F	10^{-1}	Risk of explosion
		10^{-1}	Hospital, hotel, school, civic building
		5×10^{-2}	Public entertainment, church, museum
		2×10^{-2}	Industrial, commercial
		10^{-2}	Others
D3 failure of internal systems	L_O	10^{-1}	Risk of explosion
		10^{-2}	Intensive care unit and operation block of hospital
		10^{-3}	Other parts of hospital

Por tanto,

R_{B4} = 1,05E-06

R_{C4} Riesgo por falla de sistemas eléctricos y electrónicos internos a causa de impactos directos de rayos en la estructura

$$R_{C4} = N_D \times P_C \times L_C \quad (8)$$

N_D = 0,013168 rayos-año

$$P_C = P_{SPD} \times C_{LD} \quad (B.2)$$

P_C = Probabilidad de fallas en sistemas eléctricos y electrónicos internos debido a impactos directos de rayos en la estructura

P_{SPD} = Valor del sistema coordinado de DPS de acuerdo con IEC 62305-4 y el nivel de protección contra rayos para el cual estos DPS están designados

P_{SPD} = 1 (Tabla B.3)

C_{LD} = Factor dependiente de las condiciones de apantallamiento, aterrizaje y aislamiento de las líneas de alimentación eléctrica a las cuales están conectados los equipos eléctricos y electrónicos internos

C_{LD} = 1 (Tabla B.4)

Por tanto,

P_C = 1

Table B.4 – Values of factors C_{LD} and C_{LI} depending on shielding, grounding and isolation conditions

External line type	Connection at entrance	C_{LD}	C_{LI}
Aerial line unshielded	Undefined	1	1
Buried line unshielded	Undefined	1	1
Multi grounded neutral power line	None	1	0,2
Shielded buried line (power or TLC)	Shield not bonded to the same bonding bar as equipment	1	0,3
Shielded aerial line (power or TLC)	Shield not bonded to the same bonding bar as equipment	1	0,1
Shielded buried line(power or TLC)	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	1	0
Shielded aerial line (power or TLC)	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	1	0
Lightning protective cable or wiring in lightning protective cable ducts, metallic conduit, or metallic tubes	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	0	0
(No external line)	No connection to external lines (stand-alone systems)	0	0
Any type	Isolating interface according to IEC 62305-4	0	0

Table B.3 – Value of the probability P_{SPD} as a function of LPL for which SPDs are designed

LPL	P_{SPD}
No coordinated SPD system	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTE 2	0,005 – 0,001

L_C = Probabilidad de fallas en sistemas eléctricos y electrónicos internos debido a impactos directos de rayos en la estructura

$L_C = L_O \times c_S / c_t$ (Tabla C.11) (C.13)

L_O = Valor medio relativo típico de los bienes afectados por la falla de los sistemas internos

L_O = 1,00E-04 (Tabla C.12)

c_s = Valor de los sistemas internos

c_t = Valor total de la estructura

c_S / c_t = 1 (Nota a) (Tabla C.11)

Por tanto,

L_C = 1,00E-04

Table C.12 – Type of loss L4: Typical mean values of L_T, L_F and L_O

Type of damage	Typical loss value		Type of structure
D1 injuries due to shock	L_T	10^{-2}	All types where only animals are present
D2 physical damage	L_F	1	Risk of explosion
		0.5	Hospital, industrial, museum, agricultural
		0.2	Hotel, school, office, church, public entertainment, commercial
		10^{-1}	Others
D3 failure of internal systems	L_O	10^{-1}	Risk of explosion
		10^{-2}	Hospital, industrial, office, hotel, commercial
		10^{-3}	Museum, agricultural, school, church, public entertainment
		10^{-4}	Others

Table C.11 – Type of loss L4: Loss values for each zone

Type of damage	Typical loss	Equation
D1	$L_A = r_t \times L_T \times c_a / c_t$ [a]	(C.10)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times c_a / c_t$ [a]	(C.11)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times (c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t$ [a]	(C.12)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times c_s / c_t$ [a]	(C.13)

[a] The ratios c_a / c_t and $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t$ and c_s / c_t have only to be considered in the eq. (C.10) – (C.13), if the risk assessment is conducted in accordance with clause 6.10, using Annex D. In case of using a representative value for the tolerable risk R4 in accordance with Table 4, the ratios do not have to be taken into account. In these cases, the ratios have to be replaced by the value 1.

Por tanto,

R_{C4} = 1,32E-06

R_{M4} Riesgo por falla de sistemas eléctricos y electrónicos internos a causa de impactos de rayos cerca a la estructura

$$R_{M4} = N_M \times P_M \times L_M \quad (9)$$

$$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6} \quad (A.6)$$

N_M = Número de eventos peligrosos debido a impactos cercanos a la estructura

N_G = DRT seleccionada

N_G = 4 rayos/km^2-año

A_M = Area colectora asociada a las cercanías del edifcio

$$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2 \quad (A.7)$$

Largo L= 34 metros

Ancho W= 15 metros

Por tanto,

A_M = 834398,2 m^2

Por tanto,

N_M = 3,34

P_M = Probabilidad de que un impacto cercano a la estructura cause fallas en los sistemas internos

$$P_M = P_{SPD} \times P_{MS} \qquad \text{(B.3)}$$

P_{SPD} = 1 (Tabla B.3)

P_{MS} = Probabilidad de que un impacto de rayo cercano a la estructura cause fallas y/o averías en los sistemas internos

$$P_{MS} = (K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3} \times K_{S4})^2 \qquad \text{(B.4)}$$

K_{S1} = Hace referencia a la efectividad del apantallamiento de la estructura en las zona LPZ 0/1

K_{S2} = Hace referencia a la efectividad al blindaje interno de la estructura en las zona LPZ X/Y (X>0, Y>1)

$K_{S1} = K_{S2}$ = 1

K_{S3} = Hace referencia a las características del cableado interno

K_{S3} = 0,2 (Tabla B.5)

K_{S4} = Hace referencia al impulso de tensión soportado de los sistemas a proteger

$$K_{S4} = 1/U_W \qquad \text{(B.7)}$$

U_w = 1 U_W = Tensión nominal de resistencia a impulso del sistema

K_{S4} = 1,00E+00

Table B.5 – Value of factor K_{S3} depending on internal wiring

Type of internal wiring	K_{S3}
Unshielded cable – no routing precaution in order to avoid loops[a]	1
Unshielded cable – routing precaution in order to avoid large loops[b]	0,2
Unshielded cable – routing precaution in order to avoid loops[c]	0,01
Shielded cables and cables running in metal conduits[d]	0,0001

[a] Loop conductors with different routing in large buildings (loop area in the order of 50 m²).

[b] Loop conductors routed in the same conduit or loop conductors with different routing in small buildings (loop area in the order of 10 m²).

[c] Loop conductors routed in the same cable (loop area in the order of 0,5 m²).

[d] Shields and the metal conduits bonded to an equipotential bonding bar at both ends and equipment is connected to the same bonding bar.

Por tanto,

P_{MS} = 0,04

Por tanto,

P_M = 0,04

L_M = Probabilidad de fallas en sistemas eléctricos y electrónicos internos debido a impactos de rayos cercanos a la estructura

$$L_M = L_O \times c_S / c_t \qquad \text{(Tabla C.11)} \qquad \text{(C.13)}$$

L_M = 1,00E-04

Por tanto,

R_{M4} = 1,34E-05

R_{V4} Riesgo de pérdidas económicas por daños físicos a causa de impactos directos de rayo en las líneas de alimentación eléctrica

$$R_{V4} = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (10)$$

$$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (A.8)$$

N_L = Promedio anual de descargas sobre las líneas de servicio de alimentación eléctrica

N_G = DRT seleccionada

N_G = 4 rayos/km^2-año

A_L = Área efectiva de descargas en las líneas de alimentación eléctrica

$A_L = 40 \times L_L$ (A.9)

L_L = Longitud de la sección de la línea de alimentación eléctrico en estudio

L_L = 300 metros

Por tanto,

A_L = 12000,0 m^2

C_I = Factor de instalación de las líneas de alimentación eléctrica

C_I = 5,00E-01 (Tabla A.2)

C_E = Factor ambiental respecto a las líneas de alimentación eléctrica

C_E = 1,00E-01 (Tabla A.4)

C_T = Factor del tipo de las líneas de alimentación eléctrica

C_T = 1,00E+00 (Tabla A.3)

Por tanto,

N_L = 2,40E-03

Table A.2 – Line installation factor C_I

Routing	C_I
Aerial	1
Buried	0,5
Buried cables running entirely within a meshed earth termination (5.2 of IEC 62305-4:2010).	0,01

Table A.4 – Line environmental factor C_E

Environment	C_E
Rural	1
Suburban	0,5
Urban	0,1
Urban with tall buildings*	0,01
* Buildings higher than 20 m.	

Table A.3 – Line type factor C_T

Installation	C_T
LV power, telecommunication or data line	1
HV power (with HV/LV transformer)	0,2

$\mathbf{N_{DJ}} = N_G \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6}$ (A.5)

$\mathbf{N_{DJ}}$ = Promedio anual de descargas sobre estructuras conectadas al extremo opuesto de las líneas de servicio de alimentación eléctrica

N_G = DRT seleccionada

N_G = 4,0 rayos/km^2-año

A_{DJ} = Area colectora asociada a la estructura de soporte de la acometida

$A_{DJ} = L \times W + 2x(3 \times H) \times (L+W) + \pi \times (3xH)^2$ (A.2)

L=	0,05	metros
W=	0,05	metros
H=	10	metros

Por tanto

A_{DJ} = 2833,4 m^2

C_{DJ} = Factor de localización

C_{DJ} = 1 (Tabla A.1)

C_T = Factor del tipo de las líneas de alimentación eléctrica

C_T = 1,00E+00 (Tabla A.3)

Por tanto,

N_{DJ} = 1,13E-02

$\mathbf{P_V} = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD}$ (B.8)

P_V = Probabilidad de afectación por daños físicos debido a impactos directos en las líneas de alimentación eléctrica de la estructura

P_{EB} = Valor relacionado a los DPS implementados en el sistema en función del nivel de protección contra rayos.

P_{EB} = 1 (Tabla B.7)

P_{LD} = Probabilidad de fallas en los sistemas internos conectados a las líneas de alimentación eléctrica, relacionadas con las características de las líneas

P_{LD} = 1 (Tabla B.8)

C_{LD} = Valor relacionado con las condiciones del apantallamiento, puesta a tierra y aislamiento de las líneas de alimentación eléctrica

C_{LD} = 1 (Tabla B.4)

Por tanto,

P_V = 1

Table B.7 – Value of the probability P_{EB} as a function of LPL for which SPDs are designed

LPL	P_{EB}
No SPD	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTE 3	0,005 – 0,001

Table B.8 – Values of the probability P_{LD} depending on the resistance R_S of the cable screen and the impulse withstand voltage U_W of the equipment

Line type	Routing, shielding and bonding conditions		Withstand voltage U_W in kV				
			1	1,5	2,5	4	6
Power lines or Telecom lines	Aerial or buried line, unshielded or shielded whose shield is not bonded to the same bonding bar as equipment		1	1	1	1	1
	Shielded aerial or buried whose shield bonded to the same bonding bar as equipment	5 Ω/km < R_S ≤ 20 Ω/km	1	1	0,95	0,9	0,8
		1 Ω/km < R_S ≤ 5 Ω/km	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		R_S ≤ 1 Ω/km	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

Table B.4 – Values of factors C_{LD} and C_{LI} depending on shielding, grounding and isolation conditions

External line type	Connection at entrance	C_{LD}	C_{LI}
Aerial line unshielded	Undefined	1	1
Buried line unshielded	Undefined	1	1
Multi grounded neutral power line	None	1	0,2
Shielded buried line (power or TLC)	Shield not bonded to the same bonding bar as equipment	1	0,3
Shielded aerial line (power or TLC)	Shield not bonded to the same bonding bar as equipment	1	0,1
Shielded buried line(power or TLC)	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	1	0
Shielded aerial line (power or TLC)	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	1	0
Lightning protective cable or wiring in lightning protective cable ducts, metallic conduit, or metallic tubes	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	0	0
(No external line)	No connection to external lines (stand-alone systems)	0	0
Any type	Isolating interface according to IEC 62305-4	0	0

$$L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_Z/n_t \times t_Z/8760 \qquad \text{(C.3)}$$

L_V = Pérdidas en la estructura relacionadas con daños físicos por impactos de rayos en las líneas de alimentación eléctrica de esta

r_p = Factor de reducción de pérdidas debido a los daños físicos por medidas que se adopten ante las afectaciones por fuego

r_p = 5,00E-01 (Tabla C.4)

r_f = Factor de reducción de pérdidas debido a los daños físicos dependiendo el riesgo de incendio evidente

r_f = 1,00E-02 (Tabla C.5)

h_z = Factor de incremento de pérdidas a causa de daños físicos cuando un peligro especial está presente

h_Z = 2 (Tabla C.6)

L_F = Valor medio típico relativo de los bienes afectados por daño físico debido a un evento perjudicial

L_F = 1,00E-02 (Tabla C.2)

n_z/n_t = número de personas en la zona / número de personas en las instalaciones

n_z/n_t = 100%

t_Z = Tiempo de ocupación horas-año en el cual hay personas presentes en la zona

$t_Z/8760$ = 100%

Por tanto,

L_V = 1,00E-04

Por tanto,

R_{V4} = 1,37E-06

R_{W4} Riesgo por falla de sistemas eléctricos y electrónicos internos a causa de impactos directos de rayo en las líneas de alimentación eléctrica

$$R_{W4} = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W \quad (10)$$

N_L = 2,40E-03

N_{DJ} = 1,13E-02

$P_W = P_{SPD} \times P_{LD} \times C_{LD}$ (B.8)

P_W = Probabilidad de falla de sistemas eléctricos y electrónicos internos debido a impactos directos en las líneas de alimentación eléctrica de la estructura

P_{SPD} = 1 (Tabla B.3)

P_{LD} = 1 (Tabla B.8)

C_{LD} = 1 (Tabla B.4)

Por tanto,

P_W = 1

L_W = Probabilidad de fallas en sistemas eléctricos y electrónicos internos debido a impactos directos en las líneas de alimentación eléctrica de la estructura

$L_W = L_O \times c_S / c_t$ (Tabla C.11) (C.13)

L_W = 1,00E-04

Por tanto,

R_{W4} = 1,37E-06

R_{Z4} Riesgo por falla de sistemas eléctricos y electrónicos internos a causa de impactos de rayos cerca a las líneas de alimentación eléctrica de la estructura

$$R_{Z4} = N_I \times P_Z \times L_Z \quad (13)$$

N_I = Número de sobretensiones de amplitud no menor a 1 kV (1/año) en las líneas de alimentación eléctrica

$N_I = N_G \times A_I \times C_I \times C_T \times C_E \times 10^{-6}$ (A.10)

N_G = DRT seleccionada

N_G = 4 rayos/km^2-año

A_I = Area colectora asociada a las cercanías de las líneas de alimentación eléctrica (acometida) del edificio

$A_I = 4000 \times L_L$ (A.11)

Longitud de la acometida L_L = 300 (m)

Por tanto,

A_I = 1200000,0 m^2

C_I = Factor de instalación de la acometida

C_I = 5,00E-01 (Tabla A.2)

C_T = Factor del tipo de acometida

C_T = 1,00E+00 (Tabla A.3)

C_E = Factor ambiental

C_E = 1,00E-01 (Tabla A.4)

Por tanto,

N_I = 2,40E-01

P_Z = Probabilidad de que un impacto cercano a las líneas de alimentación eléctrica de la estructura cause fallas en los sistemas internos

P_Z = $P_{SPD} \times P_{LI} \times C_{LI}$ (B.11)

P_{SPD} = 1 (Tabla B.3)

P_{LI} = Probabilidad de falla de sistemas internos a causa de impactos cercanos a las líneas de alimentación eléctricas de la estructura de acuerdo con el tipo de estas y las características de los equipos alimentados

P_{LI} = 1,00E+00 (Tabla B.9)

C_{LI} = Factor dependiente de las condiciones de apantallamiento, aterrizaje y aislamiento de las líneas de alimentación eléctrica

C_{LI} = 1,00E+00 (Tabla B.4)

Por tanto,

P_Z = 1

Table B.9 – Values of the probability P_{LI} depending on the line type and the impulse withstand voltage U_W of the equipment

Line type	Withstand voltage U_W in kV				
	1	1,5	2,5	4	6
Power lines	1	0,6	0,3	0,16	0,1
TLC lines	1	0,5	0,2	0,08	0,04

L_Z = Probabilidad de fallas en sistemas eléctricos y electrónicos internos debido a impactos cercanos a las líneas de alimentación eléctrica de la estructura

L_Z = $L_O \times c_s / c_t$ (Tabla C.11) (C.13)

L_Z = 1,00E-04

Por tanto,

R_{Z4} = 2,40E-05

Por tanto,

$R_4 = R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4}$

R_4 = 4,25E-05 **R_T = 1,0E-03**

EN LAS CONDICIONES CONSIDERADAS, EL RIESGO DE PERDIDAS ECONÓMICAS DEBIDO A DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS ES MENOR QUE EL VALOR DE RIESGO TOLERABLE, VERIFICAR SI SE REQUIEREN MEDIDAS ADICIONALES POR R1

EVALUACION DE RIESGO DE DAÑOS POR DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS

IEC 62305-2 Ed. 2.0 PROTECTION AGAINST LIGHTNING – Part 2: Risk management

CÁLCULO DEL RIESGO

PROYECTO: **PARQUE ARQUEOLOGICO HACIENDA EL CARMEN TAQUILLA 2**

RESUMEN

Localización:	Bogota D.C.	**DDT (rayos/km2-año):**	4
Dimensiones de estructura bajo análisis:		Longitud L (m):	37,5
		Ancho W (m):	22
		Altura H (m):	5

Protección al fuego consideradas en la estructura:
Una de las siguientes prevenciones: Extintores manuales, instalaciones de alarme manual, hidrantes, compartimientos contra fuego, rutas de evacuación

Riesgo de fuego de la estructura: Ordinario

Línea de alimentación eléctrica de la estructura:
Baja tensión, subterránea, 370m aproximadamente

Riesgo especial: Se considera la probabilidad que haya una persona con discapacidad o inmovilizada

Sistema coordinado de protección interno adoptado con DPS: Sin sistema coordinado de protección

Previsión tensiones de paso y contacto: Avisos y equipotencialización efectiva del suelo

NOTA: Los demás criterios considerados en este análisis se pueden consultar en el reporte de análisis de riesgo

RESUMEN RESULTADOS

Riesgo representativo tolerable R_T	Riesgo calculado R_X sin medidas de protección	Riesgo calculado R_X con medidas de protección proyectadas	Medidas de protección proyectadas
Afectación a personas R_1			
1,0E-05	9,75E-06	N.A	No se requiere sistema de protección contra rayos externo
Pérdidas Económicas R_4			
1,00E-03	4,82E-05	N.A	El riesgo de pérdidas económicas es menor que el valor de riesgo tolerable

EVALUACION DE RIESGO DE DAÑOS POR DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS

IEC 62305-2 Ed. 2.0 PROTECTION AGAINST LIGHTNING – Part 2: Risk management

PROYECTO: PARQUE ARQUEOLOGICO HACIENDA EL CARMEN TAQUILLA 1

CÁLCULO DEL RIESGO

CONDICIONES ACTUALES (SIN MEDIDAS DE PROTECCIÓN ADICIONALES)

R1: RIESGO DE PÉRDIDA DE VIDAS HUMANAS

$$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{U1} + R_{V1} \qquad 37{,}5 \qquad (1)$$

R_{A1} Riesgo de lesiones a personas por tensiones de paso o de contacto a causa de impactos directos de rayo en la estructura

$$R_{A1} = N_D \times P_A \times L_A \qquad (6)$$

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \qquad (A.4)$$

N_D = Número de eventos peligrosos debido a impactos directos en la estructura

N_G = DRT seleccionada

N_G = 4 **rayos/km^2-año**

A_D = Area colectora asociada al edificio completo

$$A_D = L \times W + 2x(3 \times H) \times (L+W) + \pi \times (3xH)^2 \qquad (A.2)$$

L= 37,5 metros

W= 22 metros

H= 5 metros

Por tanto

A_D = 3316,9 m^2

C_D = Factor de localización

C_D = 1 (Tabla A.1)

Por tanto,

N_D = 0,0132674 rayos-año

Table A.1 – Structure location factor C_D

Relative location	C_D
Structure surrounded by higher objects	0,25
Structure surrounded by objects of the same height or smaller	0,5
Isolated structure: no other objects in the vicinity	1
Isolated structure on a hilltop or a knoll	2

$$P_A = P_{TA} \times P_B \qquad (B.1)$$

P_A = Probabilidad de lesiones a personas por tensiones de paso o de contacto debidas a impactos directos en la estructura

P_{TA} = Medidas de protección adicionales frente a tensiones de paso y de contacto

P_{TA} = 1,E-03 (Tabla B.1)

P_B = Nivel del sistema de protección contra rayos

P_B = 1 (Tabla B.2)

Por tanto,

P_A = 0,001

Table B.1 – Values of probability P_{TA} that a flash to a structure will cause shock to living beings due to dangerous touch and step voltages

Additional protection measure	P_{TA}
No protection measures	1
Warning notices	10^{-1}
Electrical insulation (e.g. at least 3 mm cross-linked polyethylene) of exposed parts (e.g. down-conductors)	10^{-2}
Effective soil equipotentialization	10^{-2}
Physical restrictions or building framework used as a down-conductor system	0

Table B.2 – Values of probability P_B depending on the protection measures to reduce physical damage

Characteristics of structure	Class of LPS	P_B
Structure not protected by LPS	–	1
Structure protected by LPS	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Structure with an air-termination system conforming to LPS I and a continuous metal or reinforced concrete framework acting as a natural down-conductor system		0,01
Structure with a metal roof and an air-termination system, possibly including natural components, with complete protection of any roof installations against direct lightning strikes and a continuous metal or reinforced concrete framework acting as a natural down-conductor system		0,001

$L_A = r_t \times L_T \times n_z/n_t \times t_z / 8760$

L_A = Pérdida relacionada con lesiones a personas por tensiones de paso o de contacto por impactos de rayos en la estructura

r_t = Es el factor de reducción de afectación a personas relacionado con el tipo de suelo o terreno

r_t = 1,00E-02 (Tabla C.3)

L_T = Valor promedio típico relativo de personas afectadas por tensiones de paso o de contacto a causa impactos en la estructura

L_T = 2,00E-02 (Tabla C.2)

n_z/n_t = número de personas en la zona / número de personas en las instalaciones

n_z/n_t = 80%

t_Z = Tiempo de ocupación horas-año en el cual hay personas presentes en la zona

$t_Z/8760$ = 100%

Por tanto,

L_A = 1,60E-04

Table C.3 – Reduction factor r_t as a function of the type of surface of soil or floor

Type of surface[b]	Contact resistance k Ω[a]	r_t
Agricultural, concrete	≥ 1	10^{-2}
Marble, ceramic	1 – 10	10^{-3}
Gravel, moquette, carpets	10 – 100	10^{-4}
Asphalt, linoleum, wood	≥ 100	10^{-5}

[a] Values measured between a 400 cm² electrode compressed with a uniform force of 500 N and a point of infinity.

[b] A layer of insulating material, e.g. asphalt, of 5 cm thickness (or a layer of gravel 15 cm thick) generally reduces the hazard to a tolerable level.

Table C.2 – Type of loss L1: Typical mean values of L_T, L_F and L_O

Type of damage	Typical loss value		Type of structure
D1 injuries	L_T	10^{-2}	All types
D2 physical damage	L_F	10^{-1}	Risk of explosion
		10^{-1}	Hospital, hotel, school, civic building
		5×10^{-2}	Public entertainment, church, museum
		2×10^{-2}	Industrial, commercial
		10^{-2}	Others
D3 failure of internal systems	L_O	10^{-1}	Risk of explosion
		10^{-2}	Intensive care unit and operation block of hospital
		10^{-3}	Other parts of hospital

Por tanto,

$\mathbf{R_{A1}}$ = 2,12E-09

R_{B1} Riesgo por daño físico (incendio o explosión) debido a chispas peligrosas a causa de impactos directos de rayo en la estructura

$$\mathbf{R_{B1} = N_D \times P_B \times L_B} \qquad (7)$$

$\mathbf{N_D}$ = 0,01 rayos-año

$\mathbf{P_B}$ = 1 (Tabla B.2)

$\mathbf{L_B} = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_Z/n_t \times t_Z/8760$ (C.3)

$\mathbf{L_B}$ = Pérdidas en la estructura relacionadas con daños físicos por impactos de rayos en esta

r_p = Factor de reducción de pérdidas debido a los daños físicos por medidas que se adopten ante las afectaciones por fuego

r_p = 0,50 (Tabla C.4)

r_f = Factor de reducción de pérdidas debido a los daños físicos dependiendo el riesgo de incendio evidente

r_f = 1,00E-02 (Tabla C.5)

h_z = Factor de incremento de pérdidas a causa de daños físicos cuando un peligro especial está presente

h_z = 2,00E+00 (Tabla C.6)

L_f = Valor promedio típico relativo de los bienes afectados por daño físico debido a un evento perjudicial

L_F = 1,00E-02 (Tabla C.2)

n_z/n_t = número de personas en la zona / número de personas en las instalaciones

n_z/n_t = 80%

t_Z = Tiempo de ocupación horas-año en el cual hay personas presentes en la zona

$t_Z/8760$ = 100%

Por tanto,

$\mathbf{L_B}$ = 7,98E-05

Table C.4 – Reduction factor r_p as a function of provisions taken to reduce the consequences of fire

Provisions	r_p
No provisions	1
One of the following provisions: extinguishers; fixed manually operated extinguishing installations; manual alarm installations; hydrants; fire compartments; escape routes	0,5
One of the following provisions: fixed automatically operated extinguishing installations; automatic alarm installations*	0,2
* Only if protected against overvoltages and other damages and if firemen can arrive in less than 10 min.	

Table C.5 – Reduction factor r_f as a function of risk of fire or explosion of structure

Risk	Amount of risk	r_f
Explosion	Zones 0, 20 and solid explosive	1
	Zones 1, 21	10^{-1}
	Zones 2, 22	10^{-3}
Fire	High	10^{-1}
	Ordinary	10^{-2}
	Low	10^{-3}
Explosion or fire	None	0

Table C.6 – Factor h_z increasing the relative amount of loss in presence of a special hazard

Kind of special hazard	h_z
No special hazard	1
Low level of panic (e.g. a structure limited to two floors and the number of persons not greater than 100)	2
Average level of panic (e.g. structures designed for cultural or sport events with a number of participants between 100 and 1 000 persons)	5
Difficulty of evacuation (e.g. structures with immobile persons, hospitals)	5
High level of panic (e.g. structures designed for cultural or sport events with a number of participants – greater than 1 000 persons)	10

Por tanto,

$\mathbf{R_{B1}}$ = 1,06E-06

R_{U1} Riesgo de lesiones a personas por tensiones de paso o de contacto a causa de impactos directos de rayo en las líneas de alimentación eléctrica

$$\mathbf{R_{U1} = (N_L + N_{DJ}) \times P_U \times L_U} \quad (10)$$

$$\mathbf{N_L} = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (A.8)$$

$\mathbf{N_L}$ = Promedio anual de descargas sobre las líneas de servicio de alimentación eléctrica

N_G = DRT seleccionada

$\mathbf{N_G}$ = 4 **rayos/km^2-año**

A_L = Área efectiva de descargas en las líneas de alimentación eléctrica

$$A_L = 40 \times L_L \quad (A.9)$$

L_L = Longitud de la sección de la línea de alimentación eléctrica en estudio

$\mathbf{L_L}$ = 370 metros

Por tanto,

A_L = 14800,0 m^2

C_I = Factor de instalación de las líneas de alimentación eléctrica

C_I = 0,50 (Tabla A.2)

C_E = Factor ambiental respecto a las líneas de alimentación eléctrica

C_E = 1,00 (Tabla A.4)

C_T = Factor del tipo de las líneas de alimentación eléctrica

C_T = 1,00 (Tabla A.3)

Por tanto,

N_L = 2,96E-02

Table A.2 – Line installation factor C_I

Routing	C_I
Aerial	1
Buried	0,5
Buried cables running entirely within a meshed earth termination (5.2 of IEC 62305-4:2010).	0,01

Table A.4 – Line environmental factor C_E

Environment	C_E
Rural	1
Suburban	0,5
Urban	0,1
Urban with tall buildings*	0,01
* Buildings higher than 20 m.	

Table A.3 – Line type factor C_T

Installation	C_T
LV power, telecommunication or data line	1
HV power (with HV/LV transformer)	0,2

$\mathbf{N_{DJ}} = N_G \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6}$ (A.5)

N_{DJ} = Promedio anual de descargas sobre estructuras conectadas al extremo opuesto de las líneas de servicio de alimentación eléctrica

N_G = DRT seleccionada

N_G = 4 **rayos/km^2-año**

A_{DJ} = Area colectora asociada a la estructura de soporte de la acometida

$A_{DJ} = L \times W + 2x(3 \times H) \times (L+W) + \pi \times (3xH)^2$ (A.2)

L= 34 metros

W= 15 metros

H= 5 metros

Por tanto

A_{DJ} = 2686,9 m^2

C_{DJ} = Factor de localización

C_{DJ} = 1 (Tabla A.1)

C_T = Factor del tipo de las líneas de alimentación eléctrica

C_T = 1,00E+00 (Tabla A.3)

Por tanto,

N_{DJ} = 1,07E-02

P_U = P_{TU} x P_{EB} x P_{LD} x C_{LD} (B.8)

P_U = Probabilidad de lesiones a personas por tensiones de paso o de contacto debidas a impactos directos en las líneas de alimentación eléctrica de la estructura

P_{TU} = Factor de las medidas de protección ante tensiones de paso o de contacto (restricciones físicas, avisos de precaución)

P_{TU} = 1,E-01 (Tabla B.6)

P_{EB} = Valor relacionado a los DPS implementados en el sistema en función del nivel de protección contra rayos.

P_{EB} = 1 (Tabla B.7)

P_{LD} = Probabilidad de fallas en los sistemas internos conectados a las líneas de alimentación eléctrica, relacionadas con las características de las líneas

P_{LD} = 1 (Tabla B.8)

C_{LD} = Valor relacionado con las condiciones del apantallamiento, puesta a tierra y aislamiento de las líneas de alimentación eléctrica

C_{LD} = 1 (Tabla B.4)

Por tanto,

P_U = 0,1000

Table B.6 – Values of probability P_{TU} that a flash to an entering line will cause shock to living beings due to dangerous touch voltages

Protection measure	P_{TU}
No protection measures	1
Warning notices	10^{-1}
Electrical insulation	10^{-2}
Physical restrictions	0

Table B.7 – Value of the probability P_{EB} as a function of LPL for which SPDs are designed

LPL	P_{EB}
No SPD	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTE 3	0,005 – 0,001

Table B.8 – Values of the probability P_{LD} depending on the resistance R_S of the cable screen and the impulse withstand voltage U_W of the equipment

Line type	Routing, shielding and bonding conditions		Withstand voltage U_W in kV				
			1	1,5	2,5	4	6
Power lines or Telecom lines	Aerial or buried line, unshielded or shielded whose shield is not bonded to the same bonding bar as equipment		1	1	1	1	1
	Shielded aerial or buried whose shield bonded to the same bonding bar as equipment	5 Ω/km < R_S ≤ 20 Ω/km	1	1	0,95	0,9	0,8
		1 Ω/km < R_S ≤ 5 Ω/km	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		R_S ≤ 1 Ω/km	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

Table B.4 – Values of factors C_{LD} and C_{LI} depending on shielding, grounding and isolation conditions

External line type	Connection at entrance	C_{LD}	C_{LI}
Aerial line unshielded	Undefined	1	1
Buried line unshielded	Undefined	1	1
Multi grounded neutral power line	None	1	0,2
Shielded buried line (power or TLC)	Shield not bonded to the same bonding bar as equipment	1	0,3
Shielded aerial line (power or TLC)	Shield not bonded to the same bonding bar as equipment	1	0,1
Shielded buried line(power or TLC)	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	1	0
Shielded aerial line (power or TLC)	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	1	0
Lightning protective cable or wiring in lightning protective cable ducts, metallic conduit, or metallic tubes	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	0	0
(No external line)	No connection to external lines (stand-alone systems)	0	0
Any type	Isolating interface according to IEC 62305-4	0	0

$L_U = r_t \times L_T \times n_Z/n_t \times t_Z/8760$ (C.2)

L_U = Pérdidas en la estructura relacionadas con daños físicos por impactos de rayos en esta

r_t = Es el factor de reducción de afectación a personas relacionado con el tipo de suelo o terreno

r_t = 1,00E-02 (Tabla C.3)

L_T = Es el número promedio típico realativo de personas afectadas por tensiones de paso o de contacto a causa impactos en las líneas de alimentación eléctrica

L_T = 2,00E-02 (Tabla C.2)

n_z/n_t = número de personas en la zona / número de personas en las instalaciones

n_z/n_t = 80%

t_Z = Tiempo de ocupación horas-año en el cual hay personas presentes en la zona

$t_Z/8760$ = 100%

Por tanto,

L_U = 1,60E-04

Por tanto,

R_{U1} = 6,44E-07

R_{V1} Riesgo de lesiones a personas por daños físicos a causa de impactos directos de rayo en las líneas de alimentación eléctrica

$R_{V1} = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V$ (10)

N_L = 2,96E-02

N_{DJ} = 1,07E-02

$P_V = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD}$ (B.8)

P_V = Probabilidad de afectación por daños físicos debido a impactos directos en las líneas de alimentación eléctrica de la estructura

P_{EB} = Valor relacionado a los DPS implementados en el sistema en función del nivel de protección contra rayos.

P_{EB} = 1 (Tabla B.7)

P_{LD} = Probabilidad de fallas en los sistemas internos conectados a las líneas de alimentación eléctrica, relacionadas con las características de las líneas

P_{LD} = 1 (Tabla B.8)

C_{LD} = Valor relacionado con las condiciones del apantallamiento, puesta a tierra y aislamiento de las líneas de alimentación eléctrica

C_{LD} = 1 (Tabla B.4)

Por tanto,

P_V = 1,00

$L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_Z/n_t \times t_Z/8760$ (C.3)

L_V = Pérdidas en la estructura relacionadas con daños físicos por impactos de rayos en las líneas de alimentación eléctrica de esta

r_p = Factor de reducción de pérdidas debido a los daños físicos por medidas que se adopten ante las afectaciones por fuego

r_p = 5,00E-01 (Tabla C.4)

r_f = Factor de reducción de pérdidas debido a los daños físicos dependiendo el riesgo de incendio evidente

r_f = 1,00E-02 (Tabla C.5)

h_z = Factor de incremento de pérdidas a causa de daños físicos cuando un peligro especial está presente

h_Z = 5,00E+00 (Tabla C.6)

L_f = Valor medio típico relativo de los bienes afectados por daño físico debido a un evento perjudicial

L_F = 1,00E-02 (Tabla C.2)

n_z/n_t = número de personas en la zona / número de personas en las instalaciones

n_z/n_t = 80%

t_Z = Tiempo de ocupación horas-año en el cual hay personas presentes en la zona

$t_Z/8760$ = 100%

Por tanto,

L_V = 1,99E-04

Por tanto,

R_{V1} = 8,05E-06

Por tanto,

$R_1 = R_{A1} + R_{B1} + R_{U1} + R_{V1}$

R_1 = 9,75E-06 R_T = **1,0E-05**

EN LAS CONDICIONES CONSIDERADAS, SE LOGRA UN VALOR TAL QUE EL RIESGO DE PERDIDA DE VIDAS O LESIONES A PERSONAS DEBIDO A DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS ES MENOR QUE EL VALOR DE RIESGO TOLERABLE

EVALUACION DE RIESGO DE DAÑOS POR DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS

IEC 62305-2 Ed. 2.0 PROTECTION AGAINST LIGHTNING – Part 2: Risk management

PROYECTO: PARQUE ARQUEOLOGICO HACIENDA EL CARMEN TAQUILLA 2

CÁLCULO DEL RIESGO

CONDICIONES ACTUALES (SIN MEDIDAS DE PROTECCIÓN ADICIONALES)

R4: RIESGO DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS

$$R_4 = R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4} \quad (4)$$

R_{B4} Riesgo por daño físico (incendio o explosión) debido a chispas peligrosas a causa de impactos directos de rayo en la estructura

$$R_{B4} = N_D \times P_B \times L_B \quad (7)$$

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \quad (A.4)$$

N_D = Número de eventos peligrosos debido a impactos directos en la estructura

N_G = DRT seleccionada

N_G = 4,00 rayos/km^2-año

A_D = Area colectora asociada al edifcio completo

$$A_D = L \times W + 2x(3 \times H) \times (L+W) + \pi \times (3xH)^2 \quad (A.2)$$

Largo	L=	37,5	metros
Ancho	W=	22	metros
Alto	H=	5	metros

Por tanto

A_D = 3316,9 m^2

C_D = Factor de localización

C_D = 1 (Tabla A.1)

Por tanto,

N_D = 0,0132674 rayos-año

Table A.1 – Structure location factor C_D

Relative location	C_D
Structure surrounded by higher objects	0,25
Structure surrounded by objects of the same height or smaller	0,5
Isolated structure: no other objects in the vicinity	1
Isolated structure on a hilltop or a knoll	2

P_B = Nivel del sistema de protección contra rayos

P_B = 1 (Tabla B.2)

Table B.2 – Values of probability P_B depending on the protection measures to reduce physical damage

Characteristics of structure	Class of LPS	P_B
Structure not protected by LPS	–	1
Structure protected by LPS	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Structure with an air-termination system conforming to LPS I and a continuous metal or reinforced concrete framework acting as a natural down-conductor system		0,01
Structure with a metal roof and an air-termination system, possibly including natural components, with complete protection of any roof installations against direct lightning strikes and a continuous metal or reinforced concrete framework acting as a natural down-conductor system		0,001

***Un sistema de protección contra rayos existente sin diseño y estudios previos no se considera**

$L_B = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z/n_t \times t_z/8760$ (C.3)

L_B = Pérdidas en la estructura relacionadas con daños físicos por impactos de rayos en esta

r_p = Factor de reducción de pérdidas debido a los daños físicos por medidas que se adopten ante las afectaciones por fuego

r_p = 5,00E-01 (Tabla C.4)

r_f = Factor de reducción de pérdidas debido a los daños físicos dependiendo el riesgo de incendio evidente

r_f = 1,00E-02 (Tabla C.5)

h_z = Factor de incremento de pérdidas a causa de daños físicos cuando un peligro especial está presente

h_Z = 2 (Tabla C.6)

L_f = Valor medio típico relativo de los bienes afectados por daño físico debido a un evento perjudicial

L_F = 1,00E-02 (Tabla C.2)

n_z/n_t = valor del patrimonio arquitectónico / valor total de la estructura y su contenido

n_z/n_t = 80%

t_z = Tiempo en horas al año en el cual hay personas presentes en la zona

$t_Z/8760$ = 100%

Por tanto,

L_B = 7,98E-05

Table C.4 – Reduction factor r_p as a function of provisions taken to reduce the consequences of fire

Provisions	r_p
No provisions	1
One of the following provisions: extinguishers; fixed manually operated extinguishing installations; manual alarm installations; hydrants; fire compartments; escape routes	0,5
One of the following provisions: fixed automatically operated extinguishing installations; automatic alarm installations*	0,2
* Only if protected against overvoltages and other damages and if firemen can arrive in less than 10 min.	

Table C.5 – Reduction factor r_f as a function of risk of fire or explosion of structure

Risk	Amount of risk	r_f
Explosion	Zones 0, 20 and solid explosive	1
	Zones 1, 21	10^{-1}
	Zones 2, 22	10^{-3}
Fire	High	10^{-1}
	Ordinary	10^{-2}
	Low	10^{-3}
Explosion or fire	None	0

Table C.6 – Factor h_z increasing the relative amount of loss in presence of a special hazard

Kind of special hazard	h_z
No special hazard	1
Low level of panic (e.g. a structure limited to two floors and the number of persons not greater than 100)	2
Average level of panic (e.g. structures designed for cultural or sport events with a number of participants between 100 and 1 000 persons)	5
Difficulty of evacuation (e.g. structures with immobile persons, hospitals)	5
High level of panic (e.g. structures designed for cultural or sport events with a number of participants – greater than 1 000 persons)	10

Table C.2 – Type of loss L1: Typical mean values of L_T, L_F and L_O

Type of damage	Typical loss value		Type of structure
D1 injuries	L_T	10^{-2}	All types
D2 physical damage	L_F	10^{-1}	Risk of explosion
		10^{-1}	Hospital, hotel, school, civic building
		5×10^{-1}	Public entertainment, church, museum
		2×10^{-1}	Industrial, commercial
		10^{-2}	Others
D3 failure of internal systems	L_O	10^{-1}	Risk of explosion
		10^{-2}	Intensive care unit and operation block of hospital
		10^{-2}	Other parts of hospital

Por tanto,

$\mathbf{R_{B4}}$ = 1,06E-06

R_{C4} Riesgo por falla de sistemas eléctricos y electrónicos internos a causa de impactos directos de rayos en la estructura

$$\mathbf{R_{C4} = N_D \times P_C \times L_C} \qquad (8)$$

$\mathbf{N_D}$ = 0,013267 rayos-año

$$\mathbf{P_C} = P_{SPD} \times C_{LD} \qquad (B.2)$$

P_C = Probabilidad de fallas en sistemas eléctricos y electrónicos internos debido a impactos directos de rayos en la estructura

P_{SPD} = Valor del sistema coordinado de DPS de acuerdo con IEC 62305-4 y el nivel de protección contra rayos para el cual estos DPS están designados

$\mathbf{P_{SPD}}$ = 1 (Tabla B.3)

C_{LD} = Factor dependiente de las condiciones de apantallamiento, aterrizaje y aislamiento de las líneas de alimentación eléctrica a las cuales están conectados los equipos eléctricos y electrónicos internos

C_{LD} = 1 (Tabla B.4)

Por tanto,

P_C = 1

Table B.4 – Values of factors C_{LD} and C_{LI} depending on shielding, grounding and isolation conditions

External line type	Connection at entrance	C_{LD}	C_{LI}
Aerial line unshielded	Undefined	1	1
Buried line unshielded	Undefined	1	1
Multi-grounded neutral power line	None	1	0,2
Shielded buried line (power or TLC)	Shield not bonded to the same bonding bar as equipment	1	0,3
Shielded aerial line (power or TLC)	Shield not bonded to the same bonding bar as equipment	1	0,1
Shielded buried line (power or TLC)	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	1	0
Shielded aerial line (power or TLC)	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	1	0
Lightning protective cable or wiring in lightning protective cable ducts, metallic conduit, or metallic tubes	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	0	0
(No external line)	No connection to external lines (stand-alone systems)	0	0
Any type	Isolating interface according to IEC 62305-4	0	0

Table B.3 – Value of the probability P_{SPD} as a function of LPL for which SPDs are designed

LPL	P_{SPD}
No coordinated SPD system	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTE 2	0,005 – 0,001

L_C = Probabilidad de fallas en sistemas eléctricos y electrónicos internos debido a impactos directos de rayos en la estructura

$L_C = L_O \times c_S / c_t$ (Tabla C.11) (C.13)

L_O = Valor medio relativo típico de los bienes afectados por la falla de los sistemas internos

L_O = 1,00E-04 (Tabla C.12)

c_s = Valor de los sistemas internos

c_t = Valor total de la estructura

c_S / c_t = 1 (Nota a) (Tabla C.11)

Por tanto,

L_C = 1,00E-04

Table C.12 – Type of loss L4: Typical mean values of L_T, L_F and L_O

Type of damage	Typical loss value		Type of structure
D1 injuries due to shock	L_T	10^{-2}	All types where only animals are present
D2 physical damage	L_F	1	Risk of explosion
		0,5	Hospital, industrial, museum, agricultural
		0,2	Hotel, school, office, church, public entertainment, commercial
		10^{-1}	Others
D3 failure of internal systems	L_O	10^{-1}	Risk of explosion
		10^{-2}	Hospital, industrial, office, hotel, commercial
		10^{-3}	Museum, agricultural, school, church, public entertainment
		10^{-4}	Others

Table C.11 – Type of loss L4: Loss values for each zone

Type of damage	Typical loss	Equation
D1	$L_A = r_t \times L_T \times c_a / c_t$[a]	(C.10)
D1	$L_U = r_t \times L_T \times c_a / c_t$[a]	(C.11)
D2	$L_B = L_V = r_p \times r_f \times L_F \times (c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t$[a]	(C.12)
D3	$L_C = L_M = L_W = L_Z = L_O \times c_s / c_t$[a]	(C.13)

[a] The ratios c_a / c_t and $(c_a + c_b + c_c + c_s) / c_t$ and c_s / c_t have only to be considered in the eq. (C.10) – (C.13), if the risk assessment is conducted in accordance with clause 6.10, using Annex D. In case of using a representative value for the tolerable risk R4 in accordance with Table 4, the ratios do not have to be taken into account. In these cases, the ratios have to be replaced by the value 1.

Por tanto,

R_{C4} = 1,33E-06

R_{M4} Riesgo por falla de sistemas eléctricos y electrónicos internos a causa de impactos de rayos cerca a la estructura

$$R_{M4} = N_M \times P_M \times L_M \quad (9)$$

$$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6} \quad (A.6)$$

N_M = Número de eventos peligrosos debido a impactos cercanos a la estructura

N_G = DRT seleccionada

N_G = **4** **rayos/km^2-año**

A_M = Area colectora asociada a las cercanías del edifcio

$$A_M = 2 \times 500 \times (L + W) + \pi \times 500^2 \quad (A.7)$$

Largo L= 37,5 metros

Ancho W= 22 metros

Por tanto,

A_M = 844898,2 m^2

Por tanto,

N_M = 3,38

P_M = Probabilidad de que un impacto cercano a la estructura cause fallas en los sistemas internos

$$P_M = P_{SPD} \times P_{MS} \qquad \text{(B.3)}$$

P_{SPD} = 1 (Tabla B.3)

P_{MS} = Probabilidad de que un impacto de rayo cercano a la estructura cause fallas y/o averías en los sistemas internos

$$P_{MS} = (K_{S1} \times K_{S2} \times K_{S3} \times K_{S4})^2 \qquad \text{(B.4)}$$

K_{S1} = Hace referencia a la efectividad del apantallamiento de la estructura en las zona LPZ 0/1

K_{S2} = Hace referencia a la efectividad al blindaje interno de la estructura en las zona LPZ X/Y (X>0, Y>1)

$K_{S1} = K_{S2}$ = 1

K_{S3} = Hace referencia a las características del cableado interno

K_{S3} = 0,2 (Tabla B.5)

K_{S4} = Hace referencia al impulso de tensión soportado de los sistemas a proteger

$$K_{S4} = 1/U_W \qquad \text{(B.7)}$$

U_w = 1 **U_W** = Tensión nominal de resistencia a impulso del sistema

K_{S4} = 1,00E+00

Table B.5 – Value of factor K_{S3} depending on internal wiring

Type of internal wiring	K_{S3}
Unshielded cable – no routing precaution in order to avoid loops[a]	1
Unshielded cable – routing precaution in order to avoid large loops[b]	0,2
Unshielded cable – routing precaution in order to avoid loops[c]	0,01
Shielded cables and cables running in metal conduits[d]	0,0001

[a] Loop conductors with different routing in large buildings (loop area in the order of 50 m²).

[b] Loop conductors routed in the same conduit or loop conductors with different routing in small buildings (loop area in the order of 10 m²).

[c] Loop conductors routed in the same cable (loop area in the order of 0,5 m²).

[d] Shields and the metal conduits bonded to an equipotential bonding bar at both ends and equipment is connected to the same bonding bar.

Por tanto,

P_{MS} = 0,04

Por tanto,

P_M = 0,04

L_M = Probabilidad de fallas en sistemas eléctricos y electrónicos internos debido a impactos de rayos cercanos a la estructura

$$L_M = L_O \times c_S / c_t \qquad \text{(Tabla C.11)} \qquad \text{(C.13)}$$

L_M = 1,00E-04

Por tanto,

R_{M4} = 1,35E-05

R_{V4} Riesgo de pérdidas económicas por daños físicos a causa de impactos directos de rayo en las líneas de alimentación eléctrica

$$R_{V4} = (N_L + N_{DJ}) \times P_V \times L_V \quad (10)$$

$$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6} \quad (A.8)$$

N_L = Promedio anual de descargas sobre las líneas de servicio de alimentación eléctrica

N_G = DRT seleccionada

N_G = **4** **rayos/km^2-año**

A_L = Área efectiva de descargas en las líneas de alimentación eléctrica

$A_L = 40 \times L_L$ (A.9)

L_L = Longitud de la sección de la línea de alimentación eléctrico en estudio

L_L = 370 metros

Por tanto,

A_L = 14800,0 m^2

C_I = Factor de instalación de las líneas de alimentación eléctrica

C_I = 5,00E-01 (Tabla A.2)

C_E = Factor ambiental respecto a las líneas de alimentación eléctrica

C_E = 1,00E-01 (Tabla A.4)

C_T = Factor del tipo de las líneas de alimentación eléctrica

C_T = 1,00E+00 (Tabla A.3)

Por tanto,

N_L = 2,96E-03

Table A.2 – Line installation factor C_I

Routing	C_I
Aerial	1
Buried	0,5
Buried cables running entirely within a meshed earth termination (5.2 of IEC 62305-4:2010).	0,01

Table A.4 – Line environmental factor C_E

Environment	C_E
Rural	1
Suburban	0,5
Urban	0,1
Urban with tall buildings*	0,01
* Buildings higher than 20 m.	

Table A.3 – Line type factor C_T

Installation	C_T
LV power, telecommunication or data line	1
HV power with HV/LV transformer	0,2

$\mathbf{N_{DJ}} = N_G \times A_{DJ} \times C_{DJ} \times C_T \times 10^{-6}$ (A.5)

$\mathbf{N_{DJ}}$ = Promedio anual de descargas sobre estructuras conectadas al extremo opuesto de las líneas de servicio de alimentación eléctrica

N_G = DRT seleccionada

$\mathbf{N_G = 4,0}$ **rayos/km^2-año**

A_{DJ} = Area colectora asociada a la estructura de soporte de la acometida

$A_{DJ} = L \times W + 2x(3 \times H) \times (L+W) + \pi \times (3xH)^2$ (A.2)

L=	34	metros
W=	15	metros
H=	5	metros

Por tanto

A_{DJ} = 2686,9 m^2

C_{DJ} = Factor de localización

C_{DJ} = 1 (Tabla A.1)

C_T = Factor del tipo de las líneas de alimentación eléctrica

C_T = 1,00E+00 (Tabla A.3)

Por tanto,

$\mathbf{N_{DJ}}$ = 1,07E-02

$\mathbf{P_V} = P_{EB} \times P_{LD} \times C_{LD}$ (B.8)

P_V = Probabilidad de afectación por daños físicos debido a impactos directos en las líneas de alimentación eléctrica de la estructura

P_{EB} = Valor relacionado a los DPS implementados en el sistema en función del nivel de protección contra rayos.

P_{EB} = 1 (Tabla B.7)

P_{LD} = Probabilidad de fallas en los sistemas internos conectados a las líneas de alimentación eléctrica, relacionadas con las características de las líneas

P_{LD} = 1 (Tabla B.8)

C_{LD} = Valor relacionado con las condiciones del apantallamiento, puesta a tierra y aislamiento de las líneas de alimentación eléctrica

C_{LD} = 1 (Tabla B.4)

Por tanto,

$\mathbf{P_V}$ = 1

Table B.7 – Value of the probability P_{EB} as a function of LPL for which SPDs are designed

LPL	P_{EB}
No SPD	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
NOTE 3	0,005 – 0,001

Table B.8 – Values of the probability P_{LD} depending on the resistance R_S of the cable screen and the impulse withstand voltage U_W of the equipment

Line type	Routing, shielding and bonding conditions		Withstand voltage U_W in kV				
			1	1,5	2,5	4	6
Power lines or Telecom lines	Aerial or buried line, unshielded or shielded whose shield is not bonded to the same bonding bar as equipment		1	1	1	1	1
	Shielded aerial or buried whose shield bonded to the same bonding bar as equipment	5Ω/km < R_S ≤ 20 Ω/km	1	1	0,95	0,9	0,8
		1Ω/km < R_S ≤ 5 Ω/km	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		R_S ≤ 1 Ω/km	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

Table B.4 – Values of factors C_{LD} and C_{LI} depending on shielding, grounding and isolation conditions

External line type	Connection at entrance	C_{LD}	C_{LI}
Aerial line unshielded	Undefined	1	1
Buried line unshielded	Undefined	1	1
Multi grounded neutral power line	None	1	0,2
Shielded buried line (power or TLC)	Shield not bonded to the same bonding bar as equipment	1	0,3
Shielded aerial line (power or TLC)	Shield not bonded to the same bonding bar as equipment	1	0,1
Shielded buried line(power or TLC)	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	1	0
Shielded aerial line (power or TLC)	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	1	0
Lightning protective cable or wiring in lightning protective cable ducts, metallic conduit, or metallic tubes	Shield bonded to the same bonding bar as equipment	0	0
(No external line)	No connection to external lines (stand-alone systems)	0	0
Any type	Isolating interface according to IEC 62305-4	0	0

$L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_Z/n_t \times t_Z/8760$ (C.3)

L_V = Pérdidas en la estructura relacionadas con daños físicos por impactos de rayos en las líneas de alimentación eléctrica de esta

r_p = Factor de reducción de pérdidas debido a los daños físicos por medidas que se adopten ante las afectaciones por fuego

r_p = 5,00E-01 (Tabla C.4)

r_f = Factor de reducción de pérdidas debido a los daños físicos dependiendo el riesgo de incendio evidente

r_f = 1,00E-02 (Tabla C.5)

h_z = Factor de incremento de pérdidas a causa de daños físicos cuando un peligro especial está presente

h_Z = 2 (Tabla C.6)

L_F = Valor medio típico relativo de los bienes afectados por daño físico debido a un evento perjudicial

L_F = 1,00E-02 (Tabla C.2)

n_z/n_t = número de personas en la zona / número de personas en las instalaciones

n_z/n_t = 100%

t_Z = Tiempo de ocupación horas-año en el cual hay personas presentes en la zona

$t_Z/8760$ = 100%

Por tanto,

L_V = 1,00E-04

Por tanto,

R_{V4} = 1,37E-06

R_{W4} Riesgo por falla de sistemas eléctricos y electrónicos internos a causa de impactos directos de rayo en las líneas de alimentación eléctrica

$$R_{W4} = (N_L + N_{DJ}) \times P_W \times L_W \quad (10)$$

N_L = 2,96E-03

N_{DJ} = 1,07E-02

$P_W = P_{SPD} \times P_{LD} \times C_{LD}$ (B.8)

P_W = Probabilidad de falla de sistemas eléctricos y electrónicos internos debido a impactos directos en las líneas de alimentación eléctrica de la estructura

P_{SPD} = 1 (Tabla B.3)

P_{LD} = 1 (Tabla B.8)

C_{LD} = 1 (Tabla B.4)

Por tanto,

P_W = 1

L_W = Probabilidad de fallas en sistemas eléctricos y electrónicos internos debido a impactos directos en las líneas de alimentación eléctrica de la estructura

$L_W = L_O \times c_S / c_t$ (Tabla C.11) (C.13)

L_W = 1,00E-04

Por tanto,

R_{W4} = 1,37E-06

R_{Z4} Riesgo por falla de sistemas eléctricos y electrónicos internos a causa de impactos de rayos cerca a las líneas de alimentación eléctrica de la estructura

$$R_{Z4} = N_I \times P_Z \times L_Z \quad (13)$$

N_I = Número de sobretensiones de amplitud no menor a 1 kV (1/año) en las líneas de alimentación eléctrica

$N_I = N_G \times A_I \times C_I \times C_T \times C_E \times 10^{-6}$ (A.10)

N_G = DRT seleccionada

N_G = 4 **rayos/km^2-año**

A_I = Area colectora asociada a las cercanías de las líneas de alimentación eléctrica (acometida) del edificio

$A_I = 4000 \times L_L$ (A.11)

Longitud de la acometida L_L= 370 (m)

Por tanto,

A_I = 1480000,0 m^2

C_I = Factor de instalación de la acometida

C_I = 5,00E-01 (Tabla A.2)

C_T = Factor del tipo de acometida

C_T = 1,00E+00 (Tabla A.3)

C_E = Factor ambiental

C_E = 1,00E-01 (Tabla A.4)

Por tanto,

N_l = 2,96E-01

P_Z = Probabilidad de que un impacto cercano a las líneas de alimentación eléctrica de la estructura cause fallas en los sistemas internos

P_Z = P_{SPD} x P_{LI} x C_{LI} (B.11)

P_{SPD} = 1 (Tabla B.3)

P_{LI} = Probabilidad de falla de sistemas internos a causa de impactos cercanos a las líneas de alimentación eléctricas de la estructura de acuerdo con el tipo de estas y las características de los equipos alimentados

P_{LI} = 1,00E+00 (Tabla B.9)

C_{LI} = Factor dependiente de las condiciones de apantallamiento, aterrizaje y aislamiento de las líneas de alimentación eléctrica

C_{LI} = 1,00E+00 (Tabla B.4)

Por tanto,

P_Z = 1

Table B.9 – Values of the probability P_{LI} depending on the line type and the impulse withstand voltage U_W of the equipment

Line type	Withstand voltage U_W in kV				
	1	1,5	2,5	4	6
Power lines	1	0,6	0,3	0,16	0,1
TLC lines	1	0,5	0,2	0,08	0,04

L_Z = Probabilidad de fallas en sistemas eléctricos y electrónicos internos debido a impactos cercanos a las líneas de alimentación eléctrica de la estructura

L_Z = L_O x c_S / c_t (Tabla C.11) (C.13)

L_Z = 1,00E-04

Por tanto,

R_{Z4} = 2,96E-05

Por tanto,

R_4= R_{B4} + R_{C4} + R_{M4} + R_{V4} + R_{W4} + R_{Z4}

R_4 = 4,82E-05 **R_T = 1,0E-03**

EN LAS CONDICIONES CONSIDERADAS, EL RIESGO DE PERDIDAS ECONÓMICAS DEBIDO A DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS ES MENOR QUE EL VALOR DE RIESGO TOLERABLE, VERIFICAR SI SE REQUIEREN MEDIDAS ADICIONALES POR R1