



Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
**Universidad** Zaragoza

# TRABAJO FIN DE GRADO

Subestación transformadora 220/132/45kV

Autor

Adrián Gómez Pérez

Director

Antonio Joaquín Montañés Espinosa

Universidad de Zaragoza / Escuela de Ingeniería y Arquitectura

Septiembre 2015



## **INDICE GENERAL**

### **DOCUMENTO N°1. MEMORIA**

#### **ANEXOS A LA MEMORIA**

- ANEXO N°1      Cálculos eléctricos
- ANEXO N°2      Estudio de seguridad y salud

### **DOCUMENTO N°2. CATALOGOS**

### **DOCUMENTO N°3. PRESUPUESTO**

### **DOCUMENTO N°4. PLIEGO DE CONDICIONES**

### **DOCUMENTO N°5. PLANOS**

Fdo. Adrián Gómez Pérez



**DOCUMENTO N°1**  
**MEMORIA**



## INDICE

1.	Justificación y finalidad de la instalación.....	3
2.	Objeto del proyecto .....	3
3.	Emplazamiento.....	4
4.	Normativa aplicable .....	4
5.	Descripción de la instalación proyectada .....	5
5.1.	Subestación.....	5
5.2.	Características generales .....	5
6.	Esquema unifilar.....	7
6.1.	Sistema de 220 kV.....	7
6.2.	Sistema de 132 kV.....	8
6.3.	Sistema de 45 kV.....	9
6.4.	Transformadores de potencia .....	10
7.	Características de la aparamenta .....	11
7.1.	Autoválvulas.....	11
7.2.	Transformador de tensión.....	14
7.3.	Seccionadores .....	15
7.4.	Transformador de intensidad.....	19
7.5.	Disyuntores.....	21
8.	Transformadores de potencia .....	24
8.1.	Autotransformador 220/132 kV – TR1 .....	24
8.2.	Transformador 132/45 kV – TR2.....	25
8.3.	Transformador 132/45 kV – TR3.....	25
9.	Aisladores.....	26
10.	Conductores.....	28
11.	Alturas .....	30
12.	Funciones de protección.....	31
13.	Resumen del presupuesto .....	33

## 1. Justificación y finalidad de la instalación

Red Eléctrica de España (REE) y ENDESA DISTRIBUCION ELÉCTRICA S.L.U. han suscrito un convenio por el cual esta última va a ser la poseedora de los parques de 132kV y 45kV, siendo de REE tan solo el de 220kV.

Se redacta el actual proyecto de creación de una “Subestación transformadora 220/132/45kV” cuya finalidad es plantear la creación de una nueva subestación transformadora (S.E.T.) en la provincia de Teruel.

Debido a la necesidad de un suministro mayor de potencia en la provincia de Teruel, así como de más líneas de distribución para la zona, se plantea la construcción de una subestación de transporte y distribución que consta de tres parques, dos parques de transporte siendo sus tensiones 220kV y 132 kV y un parque de distribución de 45kV de tensión.

La subestación tiene como finalidad:

- ✧ Creación de líneas de distribución que suministren potencia a la provincia de Teruel.
- ✧ Interconexión mediante varias líneas de tensión con otras instalaciones eléctricas del sistema eléctrico, que serán “MEZQUITA” y “EL CAMPO”.
- ✧ Posibilitar la interconexión eléctrica desde el parque de 132kV mediante líneas de tensión, así como posibilitar la alimentación eléctrica a una compañía distribuidora.

## 2. Objeto del proyecto

Se redacta el presente proyecto de acuerdo al vigente Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23, con el objetivo de obtener la Autorización Administrativa y la Aprobación del Proyecto Ejecutivo, necesarios para la legalización y puesta en servicio de la nueva S.E.T.

El presente proyecto también tiene la finalidad del cálculo, valoración y dimensionado de la aparamenta a instalar.

### 3. Emplazamiento

La subestación se ubicará en la comarca de Gúdar-Javalambre, perteneciente a la provincia de Teruel, en la “Calle Prado, 44430 Valbona, Teruel, España” a una distancia de 1,5 km del municipio de Valbona como se puede observar en los planos de localización y emplazamiento.

Las coordenadas de la instalación UTM son 30T 686020 4457245.

### 4. Normativa aplicable

- ✧ Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.
- ✧ Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.
- ✧ Normas UNE y CEI.
- ✧ Normas CENELEC, Comité Europeo para la Normalización.
- ✧ Normas vigentes del Ministerio de Fomento que tengan aplicación.
- ✧ Prescripciones de seguridad de UNESA.
- ✧ Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales y los Reglamentos que la desarrollan. R.D. 614/2001 sobre Riesgo Eléctrico
- ✧ Legislación Medio Ambiental (Residuos Industriales, Jardinería, Ruidos, Aceites, Estudio Impacto Ambiental e Integración en el entorno, etc.)
- ✧ Legislación Municipal y Urbanística.
- ✧ Instrucción de hormigón estructural (EHE-08)
- ✧ Seguridad e Higiene, R.D.555/1986.21.2.86 BOE Nº 69 de 21/03/86.
- ✧ Criterios de protección de REE
- ✧ Criterios de protección de Endesa

## 5. Descripción de la instalación proyectada

### 5.1. Subestación

La S.E.T tendrá como objetivo la creación de un anillo mediante el interconexión con otras dos subestaciones de REE, así como convertir la tensión de las líneas de 220kV a 132kV y 45kV. El parque cuenta para ese fin con dos entradas de línea de 220kV a una doble barra conectada mediante un autotransformador de 90 MVA a otra doble barra de 132kV, con unión de barras, de la que salen dos líneas de la susodicha tensión, se conecta a su vez mediante dos transformadores de 20 y 30 MVA al nivel de 45 kV que dispone de un embarrado doble con tres salidas y una unión de barras.

El transformador de servicios auxiliares se alimentará mediante una línea de 10 kV cercana a la subestación.

### 5.2. Características generales

La subestación se situará en un terreno llano y libre de obstáculos que dificulten el acceso y el trabajo en la S.E.T., adecuándolo mediante el movimiento de tierras en caso de ser necesarios para su allanado y nivelado.

El nivelado se hará con el material correspondiente, sobre el cual se colocará una capa de un material de alta resistividad eléctrica que nos protegerá contra corrientes inducidas en el terreno por parte de los elementos de la S.E.T.

Toda la superficie de la instalación, que será de 165x140 m, permanecerá vallada perimetralmente mediante una valla de 2,5 m de altura y puesta a tierra cada pocos metros. Además dispondrá de viales por los que circular dentro de la instalación que cumplan las distancias de seguridad estipuladas.

Además de lo anterior gozará de un sistema que evite la acumulación de aguas en el terreno de la subestación, así como todos los transformadores se dispondrán un foso suficientemente grande para contener el aceite de la cuba del transformador en caso de fuga o rotura y con un sistema que reduzca el riesgo de incendio de dicho aceite.

La S.E.T. también dispondrá de las canalizaciones correspondientes, conjuntamente con un edificio destinado a control, y de almacén y/u oficina en caso de que alguna de estas últimas sean requeridas.



En lo que concierne a los soportes de la aparamenta, cada estructura tiene unas dimensiones distintas para poder cumplir con las exigencias de reglamento en cuanto a las alturas, dichas dimensiones se calcularan en base a la altura de la aparamenta y a la altura a la que dicha aparamenta ha de encontrarse en cada nivel de tensión para cumplir las calculadas en el anexo de cálculos. Las estructuras cumplirán con el documento del grupo ENDESA "Criterios de diseño para la realización de estructuras y soportes en subestaciones".

Las cimentaciones se dimensionaran en base a las recomendaciones de los fabricantes homologados de estructuras y acudiendo a los catálogos donde se indica el tamaño de la cimentación. Para la elección de la aparamenta también se acudirá a fabricantes homologadas.

## 6. Esquema unifilar

El esquema unifilar de la S.E.T. queda recogido en el plano 02.00 del “Documento 5: Planos”

En este esquema unifilar se han representado todos los circuitos principales que forman cada uno de los niveles de tensión, figurando las conexiones existentes entre los diferentes niveles y elementos principales de cada uno de ellos. Dicho elementos se han numerado mediante la codificación de ENDESA.

### 6.1. Sistema de 220 kV

Se ha adoptado para la tensión de 220 kV un esquema de doble barra con tres (3) posiciones previstas para los siguientes circuitos:

- ✧ Dos (2) posiciones de línea.
- ✧ Una (1) posición de transformador de potencia.

#### 6.1.1. Aparellaje

Cada posición se equipara con el siguiente aparellaje:

##### Posición de línea:

- ✧ Tres (3) pararrayos autoválvulas con registro de descargas.
- ✧ Tres (3) transformadores de tensión inductivos.
- ✧ Un (1) seccionador tripolar de tres columnas giratorias con puesta a tierra.
- ✧ Tres (3) transformadores de intensidad.
- ✧ Un (1) interruptor automático, tripolar, de corte en SF<sub>6</sub>.
- ✧ Dos (2) seccionadores tripolares de tres columnas giratorias.

##### Posición de transformador:

- ✧ Dos (2) seccionadores tripolares de tres columnas giratorias.
- ✧ Un (1) interruptor automático, tripolar, de corte en SF<sub>6</sub>.
- ✧ Tres (3) transformadores de intensidad.
- ✧ Tres (3) pararrayos autoválvulas con registro de descargas.

A un extremo del embarrado principal se conectan seis (6) transformadores de tensión inductivos, tres (3) en cada una de las barras, para la medida de tensión, potencia y energía, y alimentación a las protecciones.

## 6.2. Sistema de 132 kV

Se ha adoptado para la tensión de 132 kV un esquema de doble barra con siete (7) posiciones previstas para los siguientes circuitos:

- ✧ Dos (2) posiciones de línea.
- ✧ Una (3) posición de transformador de potencia.
- ✧ Una (1) posición de unión de barras.
- ✧ Una (1) posición de reserva.

### 6.2.1. Aparellaje

Cada posición se equipara con el siguiente aparellaje:

#### Posición de línea:

- ✧ Tres (3) pararrayos autoválvulas con registro de descargas.
- ✧ Tres (3) transformadores de tensión inductivos.
- ✧ Un (1) seccionador tripolar de tres columnas giratorias con puesta a tierra.
- ✧ Tres (3) transformadores de intensidad.
- ✧ Un (1) interruptor automático, tripolar, de corte en SF<sub>6</sub>.
- ✧ Dos (2) seccionadores tripolares de tres columnas giratorias.

#### Posición de transformador:

- ✧ Dos (2) seccionadores tripolares de tres columnas giratorias.
- ✧ Un (1) interruptor automático, tripolar, de corte en SF<sub>6</sub>.
- ✧ Tres (3) transformadores de intensidad.
- ✧ Tres (3) pararrayos autoválvulas con registro de descargas.

Posición de unión de barras:

- ✧ Dos (2) seccionadores tripolares de tres columnas giratorias.
- ✧ Un (1) interruptor automático, tripolar, de corte en SF6.
- ✧ Tres (3) transformadores de intensidad.

A un extremo del embarrado principal se conectan seis (6) transformadores de tensión inductivos, tres (3) en cada una de las barras, para la medida de tensión, potencia y energía, y alimentación a las protecciones.

### 6.3. Sistema de 45 kV

Se ha adoptado para la tensión de 45 kV un esquema de doble barra con siete (6) posiciones previstas para los siguientes circuitos:

- ✧ Dos (2) posiciones de línea.
- ✧ Una (3) posición de transformador de potencia.
- ✧ Una (1) posición de unión de barras.

#### 6.3.1. Aparellaje

Cada posición se equipara con el siguiente aparellaje:

Posición de línea:

- ✧ Tres (3) pararrayos autoválvulas con registro de descargas.
- ✧ Tres (3) transformadores de tensión inductivos.
- ✧ Un (1) seccionador tripolar de dos columnas giratorias con puesta a tierra.
- ✧ Tres (3) transformadores de intensidad.
- ✧ Un (1) interruptor automático, tripolar, de corte en SF6.
- ✧ Dos (2) seccionadores tripolares de dos columnas giratorias.

Posición de transformador:

- ✧ Dos (2) seccionadores tripolares de dos columnas giratorias.
- ✧ Un (1) interruptor automático, tripolar, de corte en SF6.

- ✧ Tres (3) transformadores de intensidad.
- ✧ Tres (3) pararrayos autoválvulas con registro de descargas.

Posición de unión de barras:

- ✧ Dos (2) seccionadores tripolares de dos columnas giratorias.
- ✧ Un (1) interruptor automático, tripolar, de corte en SF<sub>6</sub>.
- ✧ Tres (3) transformadores de intensidad.

A un extremo del embarrado principal se conectan seis (6) transformadores de tensión inductivos, tres (3) en cada una de las barras, para la medida de tensión, potencia y energía, y alimentación a las protecciones.

#### **6.4. Transformadores de potencia**

- ✧ Un (1) autotransformador 220/132 kV de 90MVA, de intemperie, aislado en aceite mineral, con regulación en carga por tomas en el lado de alta tensión.
- ✧ Un (1) transformador 132/45 kV de 20MVA, de intemperie, aislado en aceite mineral, con regulación en carga por tomas en el lado de alta tensión.
- ✧ Un (1) transformador 132/45 kV de 30MVA, de intemperie, aislado en aceite mineral, con regulación en carga por tomas en el lado de alta tensión.

## 7. Características de la aparamenta

La aparamenta debe ser escogida para soportar al menos 40 kA de intensidad de cortocircuito, un valor mayor al calculado en el anexo de cálculos.

### 7.1. Autoválvulas

Las autoválvulas o pararrayos son los elementos encargados de proteger contra las sobretensiones tanto internas como atmosféricas y se suelen situar a ambos lados de los transformadores de potencia y en las entradas de línea de la subestación.

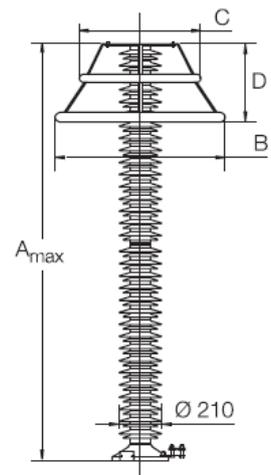
Las autoválvulas además de estar conectadas a tierra mediante un cable independiente, dispondrán de contadores de descargas.

Se dispondrán diferentes modelos en función de la tensión que deberán cumplir las condiciones mínimas expuestas a continuación y calculadas en el anexo de cálculos:

#### Nivel 220kV

- ✧ Tensión asignada ( $U_r$ ): 162,66 kV
- ✧ Tensión de aislamiento a onda tipo rayo (NA): 1050 kV
- ✧ Tensión de aislamiento a frecuencia industrial (NA): 366 kV
- ✧ Intensidad de descarga nominal: 10 kA

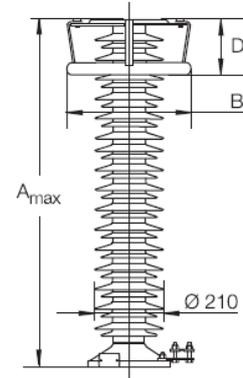
El tipo de pararrayos autoválvulas que se colocara en la S.E.T. en este nivel de tensión será el PEXLIM Q180-XH245 de ABB o un tipo con características similares que cumpla los mínimos antes expuestos.



Nivel 132kV

- ✧ Tensión asignada ( $U_r$ ): 96,27 kV
- ✧ Tensión de aislamiento a onda tipo rayo (NA): 650 kV
- ✧ Tensión de aislamiento a frecuencia industrial (NA): 233 kV
- ✧ Intensidad de descarga nominal: 10 kA

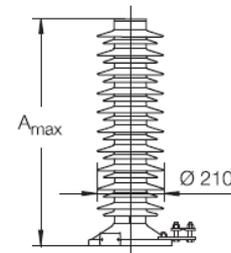
El tipo de pararrayos autoválvulas que se colocara en la S.E.T. en este nivel de tensión será el PEXLIM Q108-XH145 de ABB o un tipo con características similares que cumpla los mínimos.



Nivel 45kV

- ✧ Tensión asignada ( $U_r$ ): 34,52 kV
- ✧ Tensión de aislamiento a onda tipo rayo (NA): 250 kV
- ✧ Tensión de aislamiento a frecuencia industrial (NA): 83,3 kV
- ✧ Intensidad de descarga nominal: 10 kA

El tipo de pararrayos autoválvulas que se colocara en la S.E.T. en este nivel de tensión será el PEXLIM Q108-XH145 de ABB o un tipo con características similares que cumpla los mínimos.



Tensión máxima de red	Tensión nominal	Revestimiento	Distancia de fuga	Aislamiento externo *)				Dimensiones					
				1,2/50 $\mu$ s seco	50 Hz húmedo (60s)	60 Hz húmedo (10s)	250/2.500 $\mu$ s húmedo	Masa	$A_{m\acute{a}x}$	B	C	D	Fig.
$U_m$ kV <sub>rms</sub>	$U_r$ kV <sub>rms</sub>		mm	kV <sub>pico</sub>	kV <sub>rms</sub>	kV <sub>rms</sub>	kV <sub>pico</sub>	kg					
24	24	XV024	1363	283	126	126	242	16	481	-	-	-	1
36	30-36	XV036	1363	283	126	126	242	16	481	-	-	-	1
52	42-72	XV052	2270	400	187	187	330	24	736	-	-	-	1
72	54-72	XV072	2270	400	187	187	330	24	736	-	-	-	1
	75-84	XV072	3625	578	293	293	462	35	1080	-	-	-	1
100	75-96	XV100	3625	578	293	293	462	35	1080	-	-	-	1
123	90-120	XH123	3625	578	293	293	462	35	1080	-	-	-	1
	90-96	XV123	4540	800	374	374	660	46	1417	400	-	160	4
	108-144	XV123	4540	800	374	374	660	44	1397	-	-	-	3
	150	XV123	4988	861	419	419	704	47	1486	-	-	-	3
145	108-120	XH145	3625	578	293	293	462	37	1100	400	-	160	2
	108-120	XV145	4540	800	374	374	660	46	1417	400	-	160	4
	132-144	XV145	4540	800	374	374	660	44	1397	-	-	-	3
	150	XV145	4988	861	419	419	704	47	1486	-	-	-	3
	162-168	XV145	5895	978	480	480	792	55	1741	-	-	-	3
170	132-144	XH170	4540	800	374	374	660	46	1417	400	-	160	4
	150	XH170	4988	861	419	419	704	49	1506	400	-	160	4
	132	XV170	5895	978	480	480	792	58	1761	600	-	300	4
	144-192	XV170	5895	978	480	480	792	57	1761	400	-	160	4
245	180-210	XH245	7250	1156	586	586	924	71	2105	800	600	400	6
	180-210	XV245	7250	1156	586	586	924	69	2105	600	-	300	5
	216-228	XH245	7250	1156	586	586	924	69	2105	600	-	300	5
	180-196	XV245	8613	1439	712	712	1166	86	2617	900	600	500	8
	210-228	XV245	8613	1439	712	712	1166	83	2617	800	600	400	8

## Datos de protección garantizados

Tensión máxima de red	Tensión nominal	Tensión de trabajo continuo máxima 1)		Capacidad de sobretensiones temporales 2)		Tensión residual máxima con onda de corriente							
		según IEC	según ANSI/IEEE	1 s	10 s	30/60 $\mu$ s			8/20 $\mu$ s				
						U <sub>m</sub> kV <sub>rms</sub>	U <sub>r</sub> kV <sub>rms</sub>	U <sub>C</sub> kV <sub>rms</sub>	MCOV kV <sub>rms</sub>	1 s kV <sub>rms</sub>	10 s kV <sub>rms</sub>	0,5 kA kV <sub>pico</sub>	1 kA kV <sub>pico</sub>
24 <sup>3)</sup>	24	19.2	19.4	27.6	26.4	46.1	47.6	49.5	53.6	56.4	62.1	69.4	
36 <sup>3)</sup>	30	24.0	24.4	34.5	33.0	57.6	59.5	61.8	67.0	70.5	77.6	86.8	
	36	28.8	29.0	41.4	39.6	69.2	71.4	74.2	80.4	84.6	93.1	105	
<b>52</b>	42	34	34.0	48.3	46.2	80.7	83.3	86.5	93.8	98.7	109	122	
	48	38	39.0	55.2	52.8	92.2	95.1	98.9	108	113	125	139	
	51	41	41.3	58.6	56.1	98.0	102	105	114	120	132	148	
	132	78	106	151	145	254	262	272	295	311	342	382	
	138	78	111	158	151	265	274	285	309	325	357	399	
	144	78	115	165	158	277	286	297	322	339	373	417	
	150	78	121	172	165	288	298	309	335	353	388	434	
<b>145</b>	108	86	86.0	124	118	208	214	223	242	254	280	313	
	120	92	98.0	138	132	231	238	248	268	282	311	347	
	132	92	106	151	145	254	262	272	295	311	342	382	
	162	108	131	186	178	312	321	334	362	381	419	469	
	168	108	131	193	184	323	333	346	376	395	435	486	
	192	108	152	220	211	369	381	396	429	452	497	555	
<b>245</b>	180	144	144	207	198	346	357	371	402	423	466	521	
	192	154	154	220	211	369	381	396	429	452	497	555	
	198	156	160	227	217	381	393	408	443	466	512	573	

## 7.2. Transformador de tensión

Los transformadores de tensión son elementos de medida y protección diseñados para reducir tensiones altas a valores manejables y proporcionales a las primarias originales, separando el circuito de alta tensión de los instrumentos de medida, contadores, relés, etc.

Estos transformadores pueden tener uno o varios secundarios separados galvánicamente, cuyo número se escoge en función de las necesidades de la instalación. Estos secundarios tendrán una potencia de 20VA si se utilizan para medida y 30VA si es para protección, ya que la potencia requerida es pequeña y con estos valores sería suficientes. En lo que al grado de precisión se refiere estos serán de clase 0,2 en caso de ser de medida y 3P si son de protección.

Estos elementos se conectan en paralelo al circuito, por lo que solo tienen un punto de conexión con el circuito al que miden.

Los transformadores de tensión que se instalarán en esta instalación serán:

### Nivel 220kV

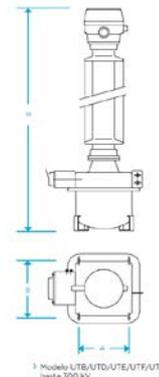
Tipo ARTECHE UTF-245 o uno similar.

### Nivel 132kV

Tipo ARTECHE UTE-145 o similar.

### Nivel 45kV

Tipo ARTECHE UTD-52 o uno similar.



### Aislamiento papel-aceite > Modelo UT

Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Potencia térmica (VA)	Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones		Peso (kg)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (kVp)	Maniobra (kVp)			A x B (mm)	H (mm)	
UTB-52	52	95	250	-	1.500	1.300	300x300	1.335	95
UTD-52	52	95	250	-	2.000	1.300	330x300	1.395	150
UTB-72	72,5	140	325	-	1.500	1.825	300x300	1.335	108
UTD-72	72,5	140	325	-	2.000	1.825	330x300	1.395	150
UTE-72	72,5	140	325	-	2.500	1.825	400x430	1.645	285
UTD-100	100	185	450	-	2.000	2.500	330x300	1.690	165
UTD-123	123	230	550	-	3.000	3.075	350x475	2.120	292
UTE-123	123	230	550	-	3.500	3.075	350x475	2.120	355
UTE-145	145	275	650	-	3.500	3.625	350x475	2.105	335
UTE-170	170	325	750	-	3.500	4.250	350x475	2.235	350
UTF-245	245	460 395	1.050 950	-	3.500	6.125	450x590	3.210	650

### 7.3. Seccionadores

Un seccionador es un elemento cuya función principal es aislar tramos de circuito de forma visible para que se pueda trabajar sobre dicho circuito sin peligro, este aparato no puede abrir carga, por lo que el circuito debe estar libre de corriente, es decir, en vacío para poder maniobrarlo.

Hay distintos tipos de seccionadores, de los cuales los más usados son los de columnas giratorias, que son los que emplearemos en esta S.E.T..

El funcionamiento de los seccionadores de columnas giratorias consiste un movimiento giratorio de sus partes móviles, dicho movimiento separa las partes por las que circularía la corriente quedando así un corte efectivo visible. En los seccionadores de tres columnas gira la columna central, sobre la que se soporta la cuchilla, mientras que en los de dos columnas ambas columnas soportan cuchillas que hacen contacto cuando está el seccionador cerrado.

Los seccionadores que se instalaran en esta instalación serán:

#### Nivel 220kV

Tipo MESA SG3CT-245/2000 o similar a la entrada de la línea.

Tipo MESA SG3C-245/2000 o similar cuando se encuentre conectado a barras.

#### Nivel 132kV

Tipo MESA SG3CT-145/2000 o similar a la entrada de la línea.

Tipo MESA SG3C-145/2000 o similar cuando se encuentre conectado a barras.

#### Nivel 52kV

Tipo MESA SGCT-52/2000 o similar a la entrada de la línea.

Tipo MESA SGC-52/2000 o similar cuando se encuentre conectado a barras.

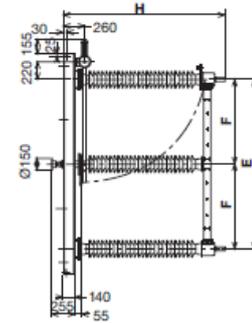
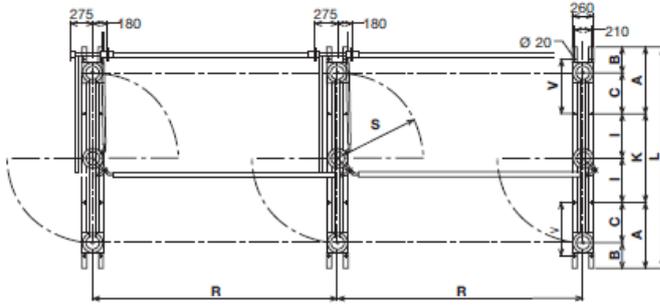
Características eléctricas Electrical Characteristics

	Referencia Reference	Tensión nominal Rated voltage	Intensidad nominal Rated normal current (1)	Tensión de ensayo / Impulse withstand voltage				Intensidad corta duración (valor eficaz) Short time withstand current (RMS) (1)	Valor cresta de la intensidad Peak withstand current (1)	Tipo de aislador Insulator type	
				A tierra y entre polos To earth and between poles		Sobre la distancia de secci. Across isolating distance					
				A frecuencia industrial bajo lluvia / Power frequency wet	A impulso/ Impulse	A frecuencia industrial bajo lluvia / Power frequency wet	A impulso/ Impulse				
A	1	SG3CP-36/1250 SG3CPT-36/1250	36	1250	70	170	80	195	31,5	80	C4-170
		SG3CP-52/1250 SG3CPT-52/1250	52	800	95	250	110	290	31,5	80	C4-250
		SG3CP-72/1250 SG3CPT-72/1250	72,5	1250	140	325	160	375	31,5	80	C4-325
		SG3CP-123/1250 SG3CPT-123/1250	123	1250	230	550	265	630	31,5	80	C4-550
	2	SG3C-36/1250 SG3CT-36/1250	36	1250	70	170	80	195	31,5	80	C4-170
		SG3C-52/1250 SG3CT-52/1250	52	1250	95	250	110	290	31,5	80	C4-250
		SG3C-72/1250 SG3CT-72/1250	72,5	1250	140	325	160	375	31,5	80	C4-325
		SG3C-123/1250 SG3CT-123/1250	123	1250	230	550	265	630	31,5	80	C4-550
	3	SG3C-52/1600 SG3CT-52/1600	52	1600	95	250	110	290	40	100	C4-250
		SG3C-52/2000 SG3CT-52/2000	52	2000	95	250	110	290	40	100	C4-250
		SG3C-52/2750 SG3CT-52/2750	52	2750	95	250	110	290	40	100	C4-250
		SG3C-72/1600 SG3CT-72/1600	72,5	1600	140	325	160	375	40	100	C4-325
	SG3C-72/2000 SG3CT-72/2000	72,5	2000	140	325	160	375	40	100	C4-325	
	SG3C-72/2750 SG3CT-72/2750	72,5	2750	140	325	160	375	40	100	C4-325	
	SG3C-123/1600 SG3CT-123/1600	123	1600	230	550	265	635	40	100	C4-550	
	SG3C-123/2000 SG3CT-123/2000	123	2000	230	550	265	635	40	100	C4-550	
	SG3C-123/2750 SG3CT-123/2750	123	2750	230	550	265	635	40	100	C4-550	
	SG3C-145/1250 SG3CPT-145/1250	145	1250	275	650	315	750	31,5	80	C4-650	
	SG3C-170/1250 SG3CPT-170/1250	170	1250	325	750	375	860	31,5	80	C4-750	
	SG3C-245/1250 SG3CPT-245/1250	245	1250	460	1050	530	1200	31,5	80	C4-1050	
B	1	SG3CP-145/1250 SG3CPT-145/1250	145	1250	275	650	315	750	31,5	80	C4-650
		SG3CP-170/1250 SG3CPT-170/1250	170	1250	325	750	375	860	31,5	80	C4-750
		SG3CP-245/1250 SG3CPT-245/1250	245	1250	460	1050	530	1200	31,5	80	C4-1050
		SG3C-145/1600 SG3CT-145/1600	145	1600	275	650	315	750	40	100	C4-650
	2	SG3C-145/1250 SG3CT-145/1250	145	1250	275	650	315	750	31,5	80	C4-650
		SG3C-170/1250 SG3CT-170/1250	170	1250	325	750	375	860	31,5	80	C4-750
		SG3C-245/1250 SG3CT-245/1250	245	1250	460	1050	530	1200	31,5	80	C4-1050
		SG3C-145/1600 SG3CT-145/1600	145	1600	275	650	315	750	40	100	C4-650
		SG3C-145/2000 SG3CT-145/2000	145	2000	275	650	315	750	40	100	C4-650
		SG3C-145/2750 SG3CT-145/2750	145	2750	275	650	315	750	40	100	C4-650
		SG3C-170/1600 SG3CT-170/1600	170	1600	325	750	375	860	40	100	C4-750
		SG3C-170/2000 SG3CT-170/2000	170	2000	325	750	375	860	40	100	C4-750
	SG3C-170/2750 SG3CT-170/2750	170	2750	325	750	375	860	40	100	C4-750	
	SG3C-245/1600 SG3CT-245/1600	245	1600	460	1050	530	1200	40	100	C4-1050	
	SG3C-245/2000 SG3CT-245/2000	245	2000	460	1050	530	1200	40	100	C4-1050	
	SG3C-245/2750 SG3CT-245/2750	245	2750	460	1050	530	1200	40	100	C4-1050	

Características eléctricas Electrical Characteristics

	Referencia Reference	Tensión nominal Rated voltage	Intensidad nominal Rated normal current (1)	Tensión de ensayo / Impulse withstand voltage				Intensidad corta duración (valor eficaz) Short time withstand current (RMS) (1)	Valor cresta de la intensidad Peak withstand current (1)	Tipo de aislador Insulator type	
				A tierra y entre polos To earth and between poles		Sobre la distancia de secci. Across isolating distance					
				A frecuencia industrial bajo lluvia / Power frequency wet	A impulso/ Impulse	A frecuencia industrial bajo lluvia / Power frequency wet	A impulso/ Impulse				
A	1	SGCP-36/1250 SGCP-36/1250	36	1250	70	170	80	195	31,5	80	C4-170
		SGCP-52/1250 SGCP-52/1250	52	800	95	250	110	290	31,5	80	C4-250
		SGCP-72/1250 SGCP-72/1250	72,5	1250	140	325	160	375	31,5	80	C4-325
		SGCP-123/1250 SGCP-123/1250	123	1250	230	550	265	630	31,5	80	C4-550
	2	SGC-36/1250 SGCT-36/1250	36	1250	70	170	80	195	31,5	80	C4-170
		SGC-52/1250 SGCT-52/1250	52	1250	95	250	110	290	31,5	80	C4-250
		SGC-52/2000 SGCT-52/2000	52	2000	95	250	110	290	40	100	C4-250
		SGC-52/2750 SGCT-52/2750	52	2750	95	250	110	290	40	100	C4-250
		SGC-72/1250 SGCT-72/1250	72,5	1250	140	325	160	375	31,5	80	C4-325
		SGC-72/1600 SGCT-72/1600	72,5	1600	140	325	160	375	40	100	C4-325
		SGC-72/2000 SGCT-72/2000	72,5	2000	140	325	160	375	40	100	C4-325
		SGC-72/2750 SGCT-72/2750	72,5	2750	140	325	160	375	40	100	C4-325
	SGC-123/1250 SGCT-123/1250	123	1250	230	550	265	630	31,5	80	C4-550	
	SGC-123/1600 SGCT-123/1600	123	1600	230	550	265	630	40	100	C4-550	
	SGC-123/2000 SGCT-123/2000	123	2000	230	550	265	630	40	100	C4-550	
	SGC-123/2750 SGCT-123/2750	123	2750	230	550	265	630	40	100	C4-550	
B	1	SGC-145/1250 SGCT-145/1250	145	1250	275	650	315	750	31,5	80	C4-650
		SGC-145/1600 SGCT-145/1600	145	1600	275	650	315	750	40	100	C4-650
		SGC-145/2000 SGCT-145/2000	145	2000	275	650	315	750	40	100	C4-650
		SGC-145/2750 SGCT-145/2750	145	2750	275	650	315	750	40	100	C4-650
	2	SGC-170/1250 SGCT-170/1250	170	1250	325	750	375	860	31,5	80	C4-750
		SGC-170/1600 SGCT-170/1600	170	1600	325	750	375	860	40	100	C4-750
		SGC-170/2000 SGCT-170/2000	170	2000	325	750	375	860	40	100	C4-750
		SGC-170/2750 SGCT-170/2750	170	2750	325	750	375	860	40	100	C4-750
		SGC-245/1250 SGCT-245/1250	245	1250	460	1050	530	1200	31,5	80	C4-1050
		SGC-245/1600 SGCT-245/1600	245	1600	460	1050	530	1200	40	100	C4-1050
		SGC-245/2000 SGCT-245/2000	245	2000	460	1050	530	1200	40	100	C4-1050
		SGC-245/2750 SGCT-245/2750	245	2750	460	1050	530	1200	40	100	C4-1050

**C SG3C, SG3CT: 145 kV ≤ U<sub>n</sub> ≤ 245 KV 1600 A ≤ I<sub>n</sub> ≤ 2750 A**

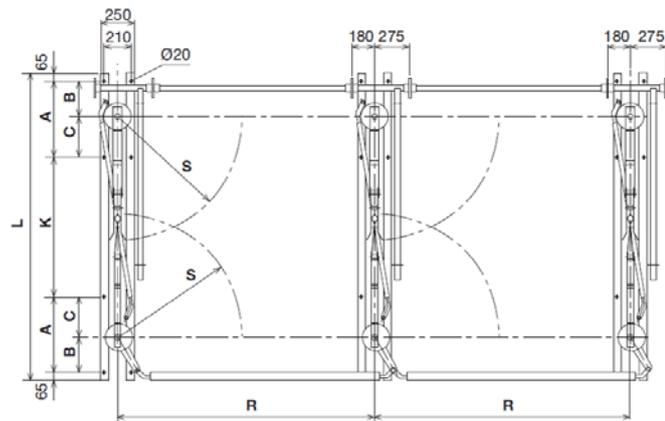
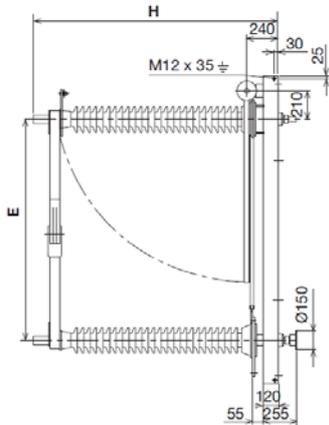


**Dimensiones**

**Dimensions**

Seccionador Disconnector		Seccionador con puesta a tierra Disconnector with earthing switch		Dimensiones (mm) Dimensions																	
Referencia Reference	Peso Weight	Referencia Reference	Peso Weight	A	B	C	D	E	F	H		I	K	L	M	R <sup>(2)</sup>	S	V			
	Kg		Kg							SG3C	SG3CP										
										SG3CT	SG3CPT										
A	1	SG3CP-36/800 SG3C-36/800	237	SG3CPT-36/800 SG3CT-36/800	291	140	60	90	160	800	400	788	650	240	480	1190	105	1000	368	-	
		SG3CP-36/1250 SG3C-36/1250		SG3CPT-36/1250 SG3CT-36/1250																	
	2	SG3CP-52/800 SG3C-52/800	285	SG3CPT-52/800 SG3CT-52/800	339	140	60	90	160	1000	500	903	765	340	680	1390	105	1200	468	-	
		SG3CP-52/1250 SG3C-52/1250		SG3CPT-52/1250 SG3CT-52/1250																	
	3	SG3CP-72/800 SG3C-72/800	522	SG3CPT-72/800 SG3CT-72/800	580	160	65	145	105	1200	600	1118	980	495	990	1590	50	1500	568	-	
		SG3CP-72/1250 SG3C-72/1250		SG3CPT-72/1250 SG3CT-72/1250																	
	4	SG3CP-123/800 SG3C-123/800	690	SG3CPT-123/800 SG3CT-123/800	754	160	65	145	105	1700	850	1568	1430	745	1490	2090	50	2100	818	-	
		SG3CP-123/1250 SG3C-123/1250		SG3CPT-123/1250 SG3CT-123/1250																	
	5	SG3C-52/1600	328	SG3CT-52/1600	384	140	60	90	160	1000	500	985	-	340	680	1390	105	1200	468	-	
		SG3C-52/2000		SG3CT-52/2000																	404
		SG3C-72/1600		SG3CT-72/1600																	630
		SG3C-72/2000		SG3CT-72/2000																	660
6	SG3C-123/1600	745	SG3CT-123/1600	809	160	65	145	105	1700	850	1620	-	745	1490	2090	50	2100	818	-		
	SG3C-123/2000		SG3CT-123/2000																	849	
B	SG3CP-145/800 SG3C-145/800	1432	SG3CPT-145/800 SG3CT-145/800	1495	815	315	500	-	2100	1050	1875	1770	550	1100	2730	-	3000	1020	600		
	SG3CP-145/1250 SG3C-145/1250		SG3CPT-145/1250 SG3CT-145/1250																		
	SG3CP-170/800 SG3C-170/800		SG3CPT-170/800 SG3CT-170/800																	1525	
	SG3CP-170/1250 SG3C-170/1250		SG3CPT-170/1250 SG3CT-170/1250																	1525	
7	SG3CP-245/800 SG3C-245/800	2000	SG3CPT-245/800 SG3CT-245/800	2045	715	315	400	-	3000	1500	2675	2560	1100	2200	3630	-	4500	1468	500		
	SG3CP-245/1250 SG3C-245/1250		SG3CPT-245/1250 SG3CT-245/1250																		
C	SG3C-145/1600	1380	SG3CT-145/1600	1505	815	315	500	-	2100	1050	1955	-	550	1100	2730	-	3000	1000	600		
	SG3C-145/2000		SG3CT-145/2000																	1515	
	SG3C-170/1600		SG3CT-170/1600																	1585	
	SG3C-170/2000		SG3CT-170/2000																	1595	
8	SG3C-245/1600	2000	SG3CT-245/1600	2145	715	315	400	-	3000	1500	2755	-	1100	2200	3630	-	4500	1450	500		
	SG3C-245/2000		SG3CT-245/2000																	2160	

**B SGC, SGCT: 123 kV ≤ U<sub>n</sub> ≤ 245 kV - I<sub>n</sub> ≤ 2750 A**



**Dimensiones**

**Dimensions**

	Seccionador Disconnector		Seccionador con puesta a tierra Disconnector with earthing switch		Dimensiones (mm) Dimensions														
	Referencia Reference	Peso Weight Kg	Referencia Reference	Peso Weight Kg	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	(2) R	S	
A	1	SGCP-36/1250	207	SGCPT-36/1250	261	140	60	153	122	660	97	153	650	-	441	1066	50	1400	355
		SGCP-52/1250	240	SGCPT-52/1250	294	140	60	145	130	750	160	90	765	230	460	1140	105	1500	400
		SGCP-72/1250	369	SGCPT-72/1250	430	160	65	145	130	1000	105	145	980	382.5	765	1390	50	2000	525
		SGCP-123/1250	505	SGCPT-123/1250	570	160	65	145	130	1550	105	145	1430	657.5	1315	1940	50	2500	800
	SGC-36/1250	267	SGCT-36/1250	306	140	60	153	122	660	97	153	780	-	441	1066	50	1400	350	
	SGC-52/1250	292	SGCT-52/1250	334	140	60	145	130	750	160	90	905	-	441	1066	50	1400	350	
	SGC-52/1600	306	SGCT-52/1600	340	140	60	145	130	750	160	90	925	-	441	1066	50	1400	350	
	SGC-52/2000	302	SGCT-52/2000	346	140	60	145	130	750	160	90	955	230	460	1140	105	1500	435	
	SGC-52/2750	308	SGCT-52/2750	352	140	60	145	130	750	160	90	985	-	441	1066	50	1400	350	
	SGC-52/3150	352	SGCT-52/3150	396	140	60	145	130	750	160	90	1000	-	441	1066	50	1400	350	
B	2	SGC-72/1250	372	SGCT-72/1250	417	160	65	145	130	1000	105	145	1110	-	765	1390	50	2000	560
		SGC-72/1600	376	SGCT-72/1600	423	160	65	145	130	1000	105	145	1130	-	765	1390	50	2000	560
		SGC-72/2000	382	SGCT-72/2000	429	160	65	145	130	1000	105	145	1160	382.5	765	1390	50	2000	560
		SGC-72/2750	388	SGCT-72/2750	435	160	65	145	130	1000	105	145	1180	-	765	1390	50	2000	560
	SGC-72/3150	426	SGCT-72/3150	473	160	65	145	130	1000	105	145	1175	-	765	1390	50	2000	560	
	SGC-123/1250	552	SGCT-123/1250	603	160	65	145	130	1550	105	145	1560	-	1315	1940	50	2500	835	
	SGC-123/1600	557	SGCT-123/1600	610	160	65	145	130	1550	105	145	1560	-	1315	1940	50	2500	835	
	SGC-123/2000	564	SGCT-123/2000	617	160	65	145	130	1550	105	145	1580	657.5	1315	1940	50	2500	835	
	SGC-123/2750	571	SGCT-123/2750	624	160	65	145	130	1550	105	145	1610	-	1315	1940	50	2500	835	
	SGC-123/3150	614	SGCT-123/3150	667	160	65	145	130	1550	105	145	1625	-	1315	1940	50	2500	835	
B		SGC-145/1250	877	SGCT-145/1250	940	600	250	350	-	1800	-	-	1885	-	1100	2430	-	3000	960
		SGC-145/1600	886	SGCT-145/1600	949	600	250	350	-	1800	-	-	1885	-	1100	2430	-	3000	960
		SGC-145/2000	901	SGCT-145/2000	964	600	250	350	-	1800	-	-	1905	-	1100	2430	-	3000	960
		SGC-145/2750	910	SGCT-145/2750	974	600	250	350	-	1800	-	-	1935	-	1100	2430	-	3000	960
	SGC-145/3150	951	SGCT-145/3150	1014	600	250	350	-	1800	-	-	1950	-	1100	2430	-	3000	960	
	SGC-170/1250	908	SGCT-170/1250	974	500	250	250	-	2100	-	-	2085	-	1600	2730	-	3200	1110	
	SGC-170/1600	920	SGCT-170/1600	986	500	250	250	-	2100	-	-	2085	-	1600	2730	-	3200	1110	
	SGC-170/2000	935	SGCT-170/2000	1001	500	250	250	-	2100	-	-	2105	-	1600	2730	-	3200	1110	
	SGC-170/2750	945	SGCT-170/2750	1011	500	250	250	-	2100	-	-	2140	-	1600	2730	-	3200	1110	
	SGC-170/3150	985	SGCT-170/3150	1051	500	250	250	-	2100	-	-	2165	-	1600	2730	-	3200	1110	
SGC-245/1250	1332	SGCT-245/1250	1412	500	250	250	-	2700	-	-	2685	-	2200	3330	-	4500	1410		
SGC-245/1600	1350	SGCT-245/1600	1430	500	250	250	-	2700	-	-	2685	-	2200	3330	-	4500	1410		
SGC-245/2000	1368	SGCT-245/2000	1448	500	250	250	-	2700	-	-	2705	-	2200	3330	-	4500	1410		
SGC-245/2750	1375	SGCT-245/2750	1458	500	250	250	-	2700	-	-	2725	-	2200	3330	-	4500	1410		
SGC-245/3150	1418	SGCT-245/3150	1498	500	250	250	-	2700	-	-	2750	-	2200	3330	-	4500	1410		

## 7.4. Transformador de intensidad

Los transformadores de intensidad son elementos diseñados para reducir las altas intensidades a valores manejables y proporcionales a las primarias originales, separando el circuito de alta tensión de los instrumentos de medida, contadores, relés, etc.

Estos transformadores pueden tener uno o varios secundarios separados galvánicamente y con núcleos magnéticos independientes. La potencia de los secundarios será de 20VA para medida y 30VA para protección y la precisión será clase 0,2 para medida y 5P para protección con una intensidad de saturación 30 veces la nominal. Estos secundarios en caso de no ser utilizados cortocircuitarlos ya que en caso de quedar abiertos la corriente primaria magnetizaría el núcleo magnético calentándose y apareciendo tensión en bornes que podrían llegar a ser peligrosas.

Estos elementos se conectan en serie, por lo que la corriente entra por una de sus bornas y sale por la otra.

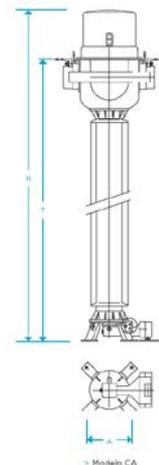
Los transformadores de tensión que se instalaran en esta instalación serán:

### Nivel 220kV

Tipo ARTECHE CA-245 o uno similar.

### Nivel 132kV

Tipo ARTECHE CA-145 o similar.

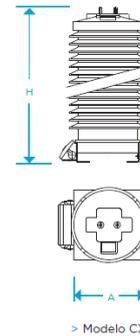


Aislamiento papel-aceite > Modelo CA

Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones			Peso (kg)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (kVp)	Maniobra (kVp)		A (mm)	T (mm)	H (mm)	
CA-36	36	70	170	-	900	350	1.185	1.625	250
CA-52	52	90	250	-	1.300	350	1.185	1.625	260
CA-72	72,5	140	325	-	1.825	350	1.335	1.775	280
CA-100	100	185	450	-	2.500	350	1.335	1.775	290
CA-123	123	230	550	-	3.075	350	1.665	2.095	300
CA-145	145	275	650	-	3.625	350	1.665	2.095	310
CA-170	170	325	750	-	4.250	350	1.895	2.335	330
CA-245	245	460 395	1.050 950	-	6.125	450	2.755	3.055	560

Nivel 45kV

Tipo ARTECHE CXH-52 o uno similar.



Aislamiento seco > Modelo CX							
Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo		Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones		Peso (kg)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (kVp)		A (mm)	H (mm)	
CXD-24	24	50	125	744	210	462	43
CXE-24	24	50	125	744	250	480	72
CXE-36	36	70	170	900	250	532	80
CXG-36	36	70	170	900	250	670	150
CXE-52	52	90	250	1440	250	712	111
CXG-52	52	90	250	1560	250	798	186
<b>CXH-52</b>	<b>52</b>	<b>90</b>	<b>250</b>	<b>1560</b>	<b>330</b>	<b>800</b>	<b>263</b>
CXG-72	72,5	140	325	1860	250	918	190
CXH-72	72,5	140	325	1860	330	920	305

Dimensiones y pesos aproximados. Para necesidades especiales, consultar.

Intensidades primarias: desde 1 A hasta 2.400 A. Intensidades de cortocircuito: hasta 120 kA/1 s.

## 7.5. Disyuntores

Los disyuntores también conocidos como interruptores automáticos son los elementos de corte encargados de maniobran en carga o cortocircuito, aunque también pueden abrir en vacío.

Estos elementos tienen varias configuraciones para conseguir extinguir el arco producido por la corriente en el momento de la apertura sin dañar el equipo. Los más usados y los que se utilizarán en esta S.E.T. son los de hexafluoruro de azufre ( $SF_6$ ), este tipo contiene un gas inerte en su interior, el  $SF_6$ , que gracias a sus características permite la extinción del arco de una manera rápida.

Los interruptores que se instalarán en esta instalación serán:

Nivel 220kV

Tipo ABB LTB 245E1 o similar.

LTB E1, Three-pole operation, BLG mechanism  
Rated voltage: 72.5 - 245 kV

### Dimensions (mm)

Rated voltage	A	B	C	D	E	F
72.5 kV	4790	1292	655	3244	1100	3590
170 kV	5400	1292	1265	3854	2500	6390
245 kV	6703	1914	1955	4544	3500	8390

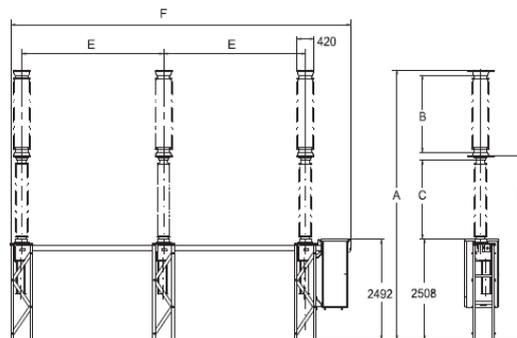
### Available dimensions for phase distances and heights to lowest part of insulator (mm)

Rated voltage	Phase distance					
72.5 kV	1100*	1500	2500	3000	3500	4000
170 kV	-	-	2500*	3000	3500	4000
245 kV	-	-	2500	3000	3500*	4000

\* Standard

Rated voltage	Height to lowest part of insulator				
72.5-245 kV	1950	2508*	2992	3642	4142

\* Standard



Nivel 132kV

Tipo ABB LTB 145D1/B o similar.

LTB D1/B, Two-column stand, Three-pole operation, MSD mechanism  
Rated voltage: 72.5 - 170 kV

Dimensions (mm)

Rated voltage	A	B	C	D	E	F
72.5 kV	4647	1164	670	3280	1750	4174
123 kV	5201	1164	1220	3837	1750	4174
145 kV	5201	1164	1220	3837	1750	4174
170 kV	5812	1475	1520	4137	1750	4174

Available dimensions for phase distances and heights to lowest part of insulator (mm)

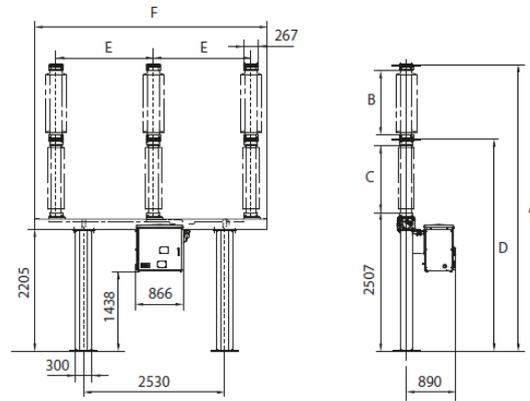
Rated voltage	Phase distance				
	1050	1500	1750*	2000	2500
72.5 kV	1050	1500	1750*	2000	2500
123 kV	-	1500	1750*	2000	2500
145 kV	-	-	1750*	2000	2500
170 kV	-	-	1750*	2000	2500

\*1 Standard

Rated voltage	Height to lowest part of insulator **		
72.5-170 kV	2501*	2946*	3529

\*1 Standard

\*\* Other dimensions can be provided



Dimensions between stands. Centre to centre (mm)

Phase distance	Stand distance
1500	2530
1750	2530
2000	2530
2500	2530

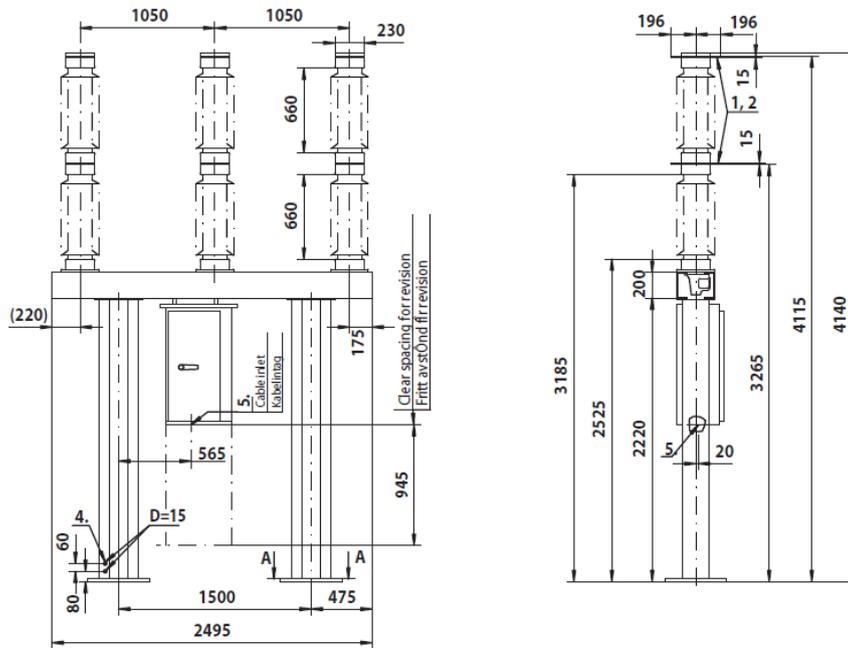
		LTB 72.5D1/B	LTB 123D1/B	LTB 145D1/B	LTB 170D1/B	LTB 72.5E1	LTB 170E1	LTB 245E1	LTB 420E2	LTB 550E2
Number of breaks per pole		1	1	1	1	1	1	1	2	2
Rated voltage	kV	72.5	123	145	170	72.5	170	245	362	550
Rated frequency	Hz	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Power frequency withstand voltage <sup>1)</sup>										
- To earth (Dry/Wet)	kV	160/140	260/230	310/275	365/315	160/140	365/315	425/350	555/-	860/-
- Across open pole (Dry/Wet)	kV	160/140	260/230	310/275	365/315	160/140	365/315	425/350	555/-	860/-
Lightning Impulse Withstand Voltage										
- To earth	kV	350	550	650	750	350	750	900	1300	1800
- Across open pole	kV	350	550	650	750	350	750	900	1300	1800
Chopped Wave Impulse Withstand Voltage										
- To earth (2 µs)	kV	452	710	838	968	452	968	1160	1680	2320
- Across open pole (2 µs)	kV	452	710	838	968	452	968	1160	1680	2320
Switching Impulse Withstand Voltage										
- To earth	kV	-	-	-	-	-	-	-	825	1175
- Across open pole	kV	-	-	-	-	-	-	-	900	1300
Rated continuous current	A	3000	3000	3000	3000	4000	4000	4000	4000	4000
Rated s.c current	kA	40	40	40	40	40	40	40	40	40
First-pole-to-clear factor		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.3	1.3
Rated closing and latching current	kA	104	104	104	104	104	104	104	104	104
Duration of short-time withstand current	s	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Closing time <sup>2)</sup>	ms	< 40	< 40	< 40	< 40	< 55	< 70	< 55	< 70	< 70
Opening time <sup>2)</sup>	ms	22	22	22	22	17	19	17	18	18
Interrupting time <sup>2)</sup>	ms	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Dead time	ms	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Rated standard operating duty	-									

O-0.3 s-CO-3 min-CO or CO-15 s-CO

Nivel 45kV

Tipo ABB EDF SK52 o similar.

EDF SK 1-1, 36 to 84 kV, 2 column stand, 3 pole operation



Dimensions in mm

Values complying with IEC 62271-100 and ANSI C37

EDF SK 1 - 1			36	52	72.5	84
Rated Voltage	IEC	kV	36	52	72.5	84
	ANSI	kV	38		72.5	84
Power frequency withstand voltage						
- 1 min dry	IEC	kV	70	95	140	140
- 1 min wet	IEC	kV	70	95	140	140
- 1 min dry	ANSI	kV	105		160	
- 10 sec wet	ANSI	kV	105		140	
Lightning impulse withstand voltage (LIWL)						
- Full wave 1,2/50 μs	IEC	kV	170	250	325	325
- Chopped wave 2 μs	ANSI	kV	200		250	
- Chopped wave 3 μs	ANSI	kV	258		452	
- Chopped wave 3 μs	ANSI	kV	230		402	
Creepage distance to earth <sup>1)2)</sup>		mm	1390	1390	1995	1995
Creepage distance across break <sup>1)2)</sup>		mm	1995	1995	1995	1995
Rated normal current		A	2500	2500	2500	2500
Rated breaking current <sup>3)</sup>	at 50 Hz	kA	31.5	31.5	31.5	25
	at 60 Hz	kA	31.5	31.5	31.5	-
First pole to clear factor					1.5	
Making current <sup>3)</sup>	at 50Hz	kAp	79	79	79	62.5
	at 60Hz	kAp	82	82	82	-
Duration of short circuit		s			3	
Closing time		ms			60	
Opening time		ms			35	
Total break time		ms			55	
Dead time		ms			300	
Rated reclosing time, 60 Hz	ANSI	cycles			20	
Rated operating sequence	IEC and ANSI		O - 0.3 sec - CO - 3 min - CO			
	ANSI		CO - 15 sec - CO			

## 8. Transformadores de potencia

Todos los transformadores de potencia serán de intemperie, con regulación en carga de alta tensión, trifásicos, de columnas y en baño de aceite.

Dado que no hay catálogos para los tipos de transformadores que se van a emplear, la construcción del transformador se realizara bajo pedido a un fabricante homologado, siendo sus características las siguientes:

### 8.1. Autotransformador 220/132 kV – TR1

#### Características constructivas

✧ Tipo de servicio.	Continuo
✧ Refrigeración	ONAN/ONAF
✧ Potencia nominal	90 MVA
✧ Tensión en el primario	220 ± 10% (19 escalones) kV
✧ Tensión en el secundario	132 kV
✧ Frecuencia	50 Hz
✧ Grupo de conexión	YNyn0
✧ Tensión de cortocircuito	15%

## 8.2. Transformador 132/45 kV – TR2

### Características constructivas

✧ Tipo de servicio.	Continuo
✧ Refrigeración	ONAN/ONAF
✧ Potencia nominal	20 MVA
✧ Tensión en el primario	132 ± 10% (19 escalones) kV
✧ Tensión en el secundario	45 kV
✧ Frecuencia	50 Hz
✧ Conexión	Estrella/estrella
✧ Grupo de conexión	YNyn0
✧ Tensión de cortocircuito	12%

## 8.3. Transformador 132/45 kV – TR3

### Características constructivas

✧ Tipo de servicio.	Continuo
✧ Refrigeración	ONAN/ONAF
✧ Potencia nominal	30 MVA
✧ Tensión en el primario	132 ± 10% (19 escalones) kV
✧ Tensión en el secundario	45 kV
✧ Frecuencia	50 Hz
✧ Conexión	Estrella/estrella
✧ Grupo de conexión	YNyn0
✧ Tensión de cortocircuito	12%

## 9. Aisladores

Los aisladores tienen la función de unir los conductores a la estructura metálica separando eléctricamente dichos conductores y la propia estructura.

Para los conductores de cable se utilizarán aisladores de vidrio de tipo caperuza-vástago cuyo tipo y número variaran en función de la tensión. Se formaran cadenas de aisladores cuyo número de aisladores se ha calculado en el anexo de cálculos, estas cadenas se sujetaran a las estructuras y cables mediante la grapa que se requiera de un fabricante homologado como por ejemplo ARRUTI.

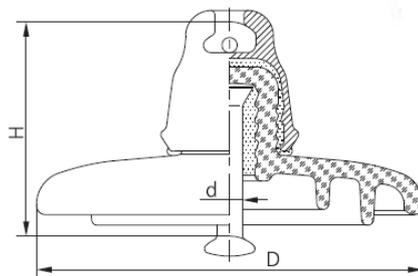
Para los conductores de tubo se utilizarán aisladores rígidos poliméricos cuyas características se describirán a continuación, unidos tanto a la estructura como al conductor mediante las grapas necesarias.

### Aisladores cable 220 kV

Para el cable de 220 kV se utilizarán cadenas de 15 aisladores U120B o similar.

### Aisladores cable 132 kV

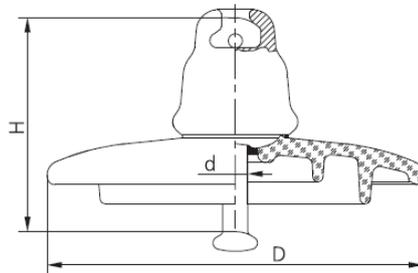
Para el cable de 132 kV se utilizarán cadenas de 10 aisladores U120B o similar.



Denominación	según IEC 60305	U120B
Carga de ruptura mecánica mínima	kN	120
Carga de ruptura mecánica mínima de residuos del aislador	kN	96
Diámetro, D	mm	255
Altura de construcción, H	mm	146
Distancia de fuga	mm	320
Acoplamiento esférico, d (IEC 60120)	mm	16
Esfuerzo dieléctrico en el medio aislante	kV	130
Voltaje de disrupción (en estado seco)	kV	70
Voltaje de disrupción (bajo la lluvia)	kV	40
Voltaje del impulso 1.2/50 +/-	kV	100/100
Tensión de ensaye para el ensayo de perforación del voltaje de impulso en aire	kV	280...310
Voltaje de radio-interferencia con la frecuencia de 0.5 MHz	dB	60
	kV	20
	dB	34
	kV	10
Masa	kg	3.9

Aisladores cable 45 kV

Para el cable de 45 kV se utilizarán cadenas de 5 aisladores U70BL o similar.



Denominación	según IEC 60305	U70BS	U70BL
Carga de ruptura mecánica mínima	kN	70	70
Carga de ruptura mecánica mínima de residuos del aislador	kN	56	56
Diámetro, D	mm	255	255
Altura de construcción, H	mm	127	146
Distancia de fuga	mm	320	320
Acoplamiento esférico, d (IEC 60120)	mm	16	16
Esfuerzo dieléctrico en el medio aislante	kV	130	130
Voltaje de disrupción (en estado seco)	kV	70	70
Voltaje de disrupción (bajo la lluvia)	kV	40	40
Voltaje del impulso 1.2/50 +/-	kV	105/105	105/105
Tensión de ensayo para el ensayo de perforación del voltaje de impulso en aire	kV	280...310	280...310
Voltaje de radio-interferencia con la frecuencia de 0.5 MHz	dB	60	60
	kV	20	20
	dB	34	34
	kV	10	10
Masa	kg	3.6	3.6

Aisladores tubo 220 kV

Para el tubo de 220 kV se utilizarán aisladores rígidos C8-1050.

Aisladores tubo 132 kV

Para el tubo de 132 kV se utilizarán aisladores rígidos C8-1050.

Aisladores de intemperie normalizados. Características esenciales.

Designación	Tensiones kV			Carga de rotura mínima		Longitud mínima de fuga tipo "d" mm	Dimensiones mm										Código
	Más elevada de la red	Soportada a los impulsos tipo rayo	Soportada a frecuencia industrial	a la flexión	a la torsión		Altura H	Diámetro máximo parte aislante D máx	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	n <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	
				N	Nm												
C4-125-PO	24	125	50	4000	800	600	305±1	195	76	76	115	115	4	M12	4	M12	4823722
C4-250-PO	52	250	95	4000	1800	1300	560±1	215	76	76	115	115	4	M12	4	M12	4823724
C4-325-PO	72,5	325	140	4000	2000	1813	770±1	225	127	127	165	165	4	M16	4	M16	4823726
C4-650-PO	145	650	275	4000	3000	3625	1500±2,5	350	127	200	165	245	4	M16	4	φ18	4823728
C8-650-PO	145	650	275	8000	4000	3625	1500±2,5	350	127	225	165	280	4	M16	4	φ18	4823768
C4-1050-PO	245	1050	460	4000	3000	6125	2300±3,5	450	127	200	165	245	4	M16	4	φ18	4823730
C8-1050-PO	245	1050	460	8000	4000	6125	2300±3,5	450	127	254	165	320	4	M16	8	φ18	4823770
C8-1550-PO	420	1550	680	8000	4000	10500	3350±4,5	450	127	275	165	320	4	M16	8	φ18	4823772
C2-650-PO	145	650	275	2000	2000	3625	1500±2,5	350	127	127	165	165	4	M12	4	φ12	4823708
C2-1050-PO	245	1050	460	2000	2000	6125	2300±3,5	450	127	127	165	165	4	M12	4	φ12	4823710
C2-1550-PO	420	1550	680	2000	2000	10500	3350±4,5	450	127	127	165	165	4	M12	4	φ12	4823712

## 10. Conductores

Se instalarán distintos tipos de conductores en la S.E.T., estos dependerán del uso que se les vaya a dar.

Para todos los conductores se utilizará un anclaje adecuado con elementos de fabricantes homologados como ARRUTI o similar.

### Conductores desnudos de alta tensión

Este tipo de conductor será el instalado en:

- ❖ Barras inferior 45 kV
- ❖ Embarrado superior de todos los niveles de tensión
- ❖ Conexión entre conductores y aparataje

El tipo de conductor a instalar será un LA-455 (CÓNDOR) cuyas características son las siguientes según el catálogo de General Cable:

CONDUCTORES DE ALUMINIO-ACERO											NORMA UNE 21018	
Denominación	Sección trans.			Equiv.Cu.	Nº de alambres y diam.		Diám. ext.	Peso unitario			Carga de rotura	Resist. eléct. a 20°C
	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>		mm <sup>2</sup>	Nº x mm		Nº x mm	kg/km	kg/km		
	Aluminio	Acero	Total		Aluminio	Acero	mm	Aluminio	Acero	Total	KN	ohm/km
LA- 30	26,7	4,4	31,1	17	6X2,38	1X2,38	7,14	73,2	34,7	107,9	9,90	1,0794
LA- 56	46,8	7,8	54,6	30	6X3,15	1X3,15	9,45	128,3	60,8	189,1	16,40	0,6136
LA- 78	67,4	11,2	78,6	42	6X3,78	1X3,78	11,34	185,0	87,0	272,0	23,10	0,4261
LA-110	94,2	22,0	116,2	60	30X2,00	7X2,00	14,00	260,4	172,3	433,0	43,10	0,3066
LA-145	119,3	27,8	147,1	75	30X2,25	7X2,25	15,75	330,0	218,0	548,0	54,10	0,2422
LA-180	147,3	34,3	181,6	93	30X2,50	7X2,50	17,50	407,0	269,0	676,0	63,90	0,1962
LA-280	241,7	39,4	281,1	152	26X3,44	7X2,68	21,80	667,0	310,0	977,0	84,50	0,1194
LA-380	337,3	43,7	381,0	212	54X2,82	7X2,82	25,38	932,0	343,0	1.275,0	106,50	0,0857
LA-455	402,3	52,2	454,5	253	54X3,08	7X3,08	27,72	1.112,0	409,0	1.521,0	124,00	0,0718
LA-545	484,5	62,8	547,3	305	54X3,38	7X3,38	30,42	1.340,0	492,0	1.832,0	148,50	0,0596
LA-635	565,0	71,6	636,6	365	54X3,65	19X2,19	32,85	1.562,0	563,0	2.125,0	175,00	0,0511

### Tubos de aluminio

Este tipo de conductor será el instalado en:

- ❖ Barras de 220 kV
- ❖ Barras de 132 kV

La longitud máxima del vano se ha calculado en el anexo de cálculos para cada uno de los dos tipos de tubo, además en el catálogo escogido (VALGAÑON) indica el vano admisible de los mismos. Se ha elegido un tipo de tubo para cada uno de los niveles de tensión de manera que tanto el vano calculado como el proporcionado por el fabricante sean superiores al vano necesario.

Para el nivel de tensión de 220 kV se empleará un tubo de 150/136 mm (exterior/interior) de diámetro, mientras que para el nivel de 132 kV se pondrá un tubo de 110/100 mm de diámetro.

CARACTERÍSTICAS TUBOS AL 6063-T6						
Dimensiones Ø ext. / Ø int. mm.	Sección mm <sup>2</sup>	Peso kg/m.	Intensidad Admisible Amperios 80°C	Vano (1) Admisible m.	Momento Inercia cm <sup>4</sup> .	Momento Resistente cm <sup>3</sup> .
40 / 35	295	0,800	785	5,40	5,20	2,07
40 / 34	349	0,942	820	5,65	6,00	2,42
40 / 32	452	1,200	928	5,90	7,42	3,06
40 / 30	550	1,484	980	6,50	8,59	3,63
45 / 40	334	0,901	870	5,60	7,56	2,66
50 / 44	443	1,196	940	6,40	12,28	3,91
50 / 42	578	1,600	1130	6,90	15,40	5,00
50 / 40	708	1,909	1260	7,50	18,11	5,99
60 / 50	864	2,330	1380	7,90	32,29	8,93
63 / 51	1075	2,901	1640	9,30	44,12	11,52
63 / 47	1382	3,730	1820	10,40	53,37	14,35
68 / 60	804	2,170	1250	7,60	41,33	9,66
70 / 60	1020	2,760	1550	9,20	54,24	12,47
80 / 72	955	2,580	1700	9,40	69,14	17,30
80 / 70	1180	3,181	1890	10,10	83,20	20,80
80 / 68	1394	3,766	2070	10,50	96,10	24,00
80 / 64	1809	4,900	2340	12,30	118,70	24,52
90 / 80	1335	3,604	2135	10,30	121,00	21,30
100 / 92	1205	3,257	2060	10,50	117,10	21,70
100 / 90	1495	4,029	2320	11,40	168,81	26,60
100 / 88	1770	4,784	2520	12,10	196,49	31,27
100 / 84	2312	6,200	2850	14,30	246,48	39,98
100 / 80	2827	7,600	3135	18,50	289,81	47,90
110 / 100	1650	4,453	2480	12,20	227,81	32,49
120 / 110	1806	4,880	2700	13,10	299,18	38,97
120 / 106	2485	6,710	3100	18,50	398,16	52,71
120 / 104	2815	7,600	3340	19,00	443,62	59,21
120 / 100	3456	9,330	3700	20,20	527,00	71,47
150 / 136	3145	8,491	3400	20,00	805,76	84,38

### Conductores de malla de tierra

En la S.E.T. se encontrarán dos tipos de conductores de tierra, los cuales serán:

La malla metálica (de 4x4 m) se compondrá de un cable de cobre de 95 mm<sup>2</sup>.

Para la conexión de los distintos elementos que se deban conectar a tierra como apartamento, carcassas, vallados o soportes, se utilizarán latiguillos de cobre de una sección de 50 mm<sup>2</sup>.

### Conductores de hilo de guarda

El hilo de guarda cuya función es la protección contra sobretensiones de carácter ambiental se compondrá de un conductor de aluminio galvanizado de 50 mm<sup>2</sup>.

## 11. Alturas

Según lo calculado en el anexo de cálculos en lo concerniente a las distancias y teniendo en las alturas mínimas de los elementos en tensión no protegidos que se encuentren sobre los pasillos y las distancias de los conductores al terreno, las alturas serán las siguientes:

### Nivel de 220 kV

- ✧ Hilos de guarda: 20 metros
- ✧ Embarrado superior: 16 metros
- ✧ Barras: 11 metros
- ✧ Aparamenta: 7 metros

### Nivel de 132 kV

- ✧ Hilos de guarda: 15 metros
- ✧ Embarrado superior: 12 metros
- ✧ Barras: 9 metros
- ✧ Aparamenta: 5 metros

### Nivel de 220 kV

- ✧ Hilos de guarda: 14 metros
- ✧ Embarrado superior: 11 metros
- ✧ Barras: 7 metros
- ✧ Aparamenta: 4 metros

## 12. Funciones de protección

Para cada una de las posiciones que componen la instalación, se enumeran a continuación las funciones de protección requeridas:

### Línea 220 kV.

- ✧ Protección de distancia con lógica de disparos unipolar (21U)
- ✧ Protección de subtensión (27)
- ✧ Protección de sincronismo (25)
- ✧ Protección de sobreintensidad direccional de neutro (67N)
- ✧ Función reenganchador tripolar(79T)
- ✧ Protección diferencial línea (87L)
- ✧ Teleprotección, oscilografía y localizador de defectos (85)

### Línea 132 kV.

- ✧ Protección de distancia (21)
- ✧ Protección de sincronismo (25)
- ✧ Sobreintensidad direccional de fases 3x(67)
- ✧ Protección de sobreintensidad direccional de neutro (67N)
- ✧ Función reenganchador triopolar (79T)
- ✧ Protección diferencial línea (87L)
- ✧ Teleprotección, oscilografía y localizador de defectos (85)

Línea 45 kV.

- ✧ Protección de distancia (21)
- ✧ Protección de sincronismo (25)
- ✧ Sobreintensidad direccional de fases 3x(67)
- ✧ Protección de sobreintensidad direccional de neutro (67N)
- ✧ Función reenganchador tripolar (79)
- ✧ Teleprotección, oscilografía y localizador de defectos (85)
- ✧ Protección diferencial línea (87L)

Barras 220 y 132 kV.

- ✧ Protección diferencial barras (87B)
- ✧ Protección de fallo de interruptor (50S-62)

Unión de barras.

- ✧ Protección sobreintensidad de fases 3x(50-51)
- ✧ Protección sobreintensidad de neutro (50N-51N)

Posición transformador.

- ✧ Protección diferencial (87T)
- ✧ Sobreintensidad de fases 3x(50-51)
- ✧ Sobreintensidad de neutro (50N-51N)
- ✧ Protecciones de máquina
  - Buchholz de cuba (63B)
  - Buchholz de cambiador de tomas (63BJ)
  - Temperatura (26)
  - Sobrepresión (63L)
  - Nivel de aceite (63N)
- ✧ Regulador de tensión (90)

### 13. Resumen del presupuesto

Total aparamenta:	5.723.035,75 €
Total conductores:	450.235,55 €
Total aparellaje:	341.115,25 €
Total estructura:	375.716,70 €
Total obra civil:	834.822,92 €
Subtotal presupuesto:	<b>7.724.926,17 €</b>
Gastos generales (13%):	1004240,40 €
Beneficio industrial (6%):	463495,57 €
Subtotal antes de impuestos:	9.192.662,14 €
I.V.A. (21%):	1930459,05 €
Total presupuesto:	<b>11.123.121,19 €</b>

El coste TOTAL de la “Subestación transformadora 220/132/45kV” asciende a la cantidad de ONCE MILLONES CIENTO VENTITRES MIL CIENTO VENTIUN EUROS CON DIECINUEVE CÉNTIMOS

Fdo. Adrián Gómez Pérez



## **ANEXO N°1**

# **CÁLCULOS ELÉCTRICOS**



## INDICE

1.	Aislamiento .....	37
1.1.	Tensiones nominales normalizadas .....	37
1.2.	Niveles de aislamiento.....	38
1.3.	Nivel de 220kV .....	43
1.4.	Nivel de 132kV .....	43
1.5.	Nivel de 45kV .....	43
2.	Cálculo de intensidades .....	44
2.1.	Formulas.....	44
2.2.	Nivel de 220 kV .....	44
2.3.	Nivel de 132 kV .....	46
2.4.	Nivel de 45 kV .....	48
2.5.	Resumen de intensidades.....	51
3.	Cálculo de cortocircuito .....	52
3.1.	Cortocircuito en barras de 220kV.....	53
3.2.	Cortocircuito en barras de 132kV.....	54
3.3.	Cortocircuito en barras de 45kV.....	55
3.4.	Resumen de intensidades de cortocircuito .....	55
4.	Autoválvulas.....	56
4.1.	Protección contra sobretensiones .....	56
4.2.	Introducción.....	57
4.3.	Método de calculo .....	60
4.4.	Autovalvulas Nivel 220 kV .....	62
4.5.	Autovalvulas Nivel 132 kV .....	63
4.6.	Autovalvulas Nivel 45 kV .....	64
5.	Aisladores.....	65
5.1.	Generalidades .....	65
5.2.	Método de cálculo .....	67
5.3.	Aisladores Nivel 220 kV .....	71
5.4.	Aisladores Nivel 132 kV .....	73
5.5.	Aisladores Nivel 45 kV .....	75
6.	Conductores.....	77
6.1.	Generalidades .....	77
6.2.	Conductores de aluminio.....	77
6.3.	Método de calculo .....	80
6.4.	Conductores Nivel 220 kV .....	81



6.5.	Conductores Nivel 132 kV .....	83
6.6.	Conductores Nivel 45 kV .....	85
7.	Cálculo mecánico .....	87
7.1.	Cargas y sobrecargas a considerar.....	87
7.2.	Conductores.....	90
7.3.	Embarrados.....	101
8.	Instalaciones eléctricas de exterior.....	106
8.1.	Vallado .....	106
8.2.	Clases de instalaciones .....	106
8.3.	Terreno .....	106
8.4.	Pasillos y zonas de servicio .....	107
9.	Distancias mínimas de seguridad de los conductores.....	111
9.1.	Distancias en el apoyo.....	111
9.2.	Distancias al terreno .....	113
10.	Tierras y tensiones de paso y contacto .....	114
10.1.	Puesta a tierra .....	114
10.2.	Tensiones de paso y contacto .....	116
11.	Hilos de guarda.....	118
11.1.	Nivel de 220kV .....	118
11.2.	Nivel de 132kV .....	118
11.3.	Nivel de 45kV .....	119

## 1. Aislamiento

### 1.1. Tensiones nominales normalizadas

Según aparece en la tabla 1 de la ITC-RAT 04 del reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión, las tensiones nominales normalizadas son las que se indican en la siguiente tabla:

TENSIÓN NOMINAL DE LA RED ( $U_n$ ) kV	TENSIÓN MÁS ELEVADA DE LA RED ( $U_s$ ) kV	TENSIÓN MÁS ELEVADA DEL MATERIAL ( $U_m$ ) kV
3	3,6	3,6
6	7,2	7,2
10	12	12
15	17,5	17,5
20	24	24
25	30	36
30	36	36
45	52	52
66	72,5	72,5
110	123	123
132	145	145
220	245	245
400	420	420

Tabla 1: Tensiones nominales normalizadas

En la subestación transformadora proyectada hay definidos tres niveles distintos de tensión detallados a continuación:

- ❖ **Nivel de 220 kV:** Consta de dos líneas de entrada y dos líneas de transformador (hacia el nivel de 132 kV), con un embarrado doble.
- ❖ **Nivel de 132 kV:** Consta de dos líneas de salida y cuatro líneas de transformador (dos líneas hacia el nivel de 220 kV y dos hacia el de 45 kV), con un embarrado doble.
- ❖ **Nivel de 45 kV:** Consta de cinco líneas de salida, de una línea de servicios auxiliares, una línea de condensadores y dos líneas de transformador (hacia el nivel de 132 kV).

## 1.2. Niveles de aislamiento

En la ITC-RAT 12 del reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión se especifica que el aislamiento de los equipos empleados en instalaciones de alta tensión deberán adaptarse a los valores normalizados indicados en las normas UNE- EN 60071-1 y UNE-EN 60071-1 salvo en casos especiales debidamente justificados.

En esta ITC también se distinguen tres grupos de niveles de aislamiento en función de los valores de la tensión más elevada para el material, que son:

- ❖ **Grupo A:** Tensión más elevada del material mayor de 1 kV y menor o igual de 36 kV.
- ❖ **Grupo B:** Tensión más elevada del material mayor de 36 kV y menor o igual de 245 kV.
- ❖ **Grupo C:** Tensión más elevada del material mayor de 245 kV.

### 1.2.1. Niveles de aislamiento nominales para materiales del Grupo A

En la siguiente tabla se especifican los niveles de aislamiento nominales asociados con los valores normalizados de la tensión más elevada del material del Grupo A, así como las distancias mínimas de aislamiento en aires, entre fases y entre cualquier fase a tierra.

TENSIÓN MÁS ELEVADA PARA EL MATERIAL (Um) (kV eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A FRECUENCIA INDUSTRIAL (kV eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO RAYO (kV cresta)		Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases (mm)			
		Lista 1	Lista 2	Lista 1		Lista 2	
				instalación en interior	instalación en exterior	instalación en interior	instalación en exterior
3,6	10	20		60	120		
			40			60	120
7,2	20	40		60	120		
			60			90	120
12	28	60		90	150		
			75			120	150
17,5	38	75		120	160		
			95			160	160
24	50	95		160	160		
			125			220	220
			145			270	270
36	70	145		270	270		
			170			320	320

Tabla 2: Niveles de aislamiento nominales del Grupo A

Además de la tensión soportada nominal a frecuencia industrial, se dan dos valores de la tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo para cada valor de la tensión más elevada para el material. Estos dos valores se especifican en las listas 1 y 2. No se utilizarán valores intermedios. Los ensayos se especifican con el fin de verificar la capacidad del aislamiento, y en particular la de los devanados y arrollamientos para soportar las sobretensiones de origen atmosférico y las sobretensiones de maniobra de frente escarpado, especialmente las debidas a recebados entre contactos de los aparatos de maniobra.

La elección entre la lista 1 y la lista 2, deberá hacerse considerando el grado de exposición a las sobretensiones de rayo y de maniobra, las características de puesta a tierra de la red y, cuando exista, el tipo de dispositivo de protección contra las sobretensiones

El material que responda a la lista 1 es utilizable en las siguientes instalaciones:

- ✧ En redes e instalaciones no conectadas a líneas aéreas:
  - a) Cuando el neutro está puesto a tierra bien directamente o bien a través de una impedancia de pequeño valor comparado con el de una bobina de extinción. En este caso no es necesario emplear dispositivos de protección contra las sobretensiones, tales como pararrayos.
  - b) Cuando el neutro del sistema está puesto a tierra a través de una bobina de extinción y en algunas redes equipadas con una protección suficiente contra las sobretensiones. Este es el caso de redes extensas de cables en las que puede ser necesario el empleo de pararrayos capaces de descargar la capacidad de los cables.
- ✧ En redes e instalaciones conectadas a líneas aéreas a través de transformadores en las que la capacidad con respecto a tierra de los cables unidos a las bornas de baja tensión del transformador es al menos de  $0,05 \mu\text{F}$  por fase. Cuando la capacidad a tierra del cable es inferior al valor indicado, pueden conectarse condensadores suplementarios entre el transformador y el aparato de corte, tan cerca como sea posible de los bornes del transformador, de modo que la capacidad total a tierra del cable y de los condensadores llegue a ser al menos de  $0,05 \mu\text{F}$  por fase.



- ✧ Esto cubre los casos siguientes:
  - a) Cuando el neutro del sistema está puesto a tierra bien directamente o bien a través de una impedancia de valor pequeño comparado con el de una bobina de extinción. En este caso, puede ser conveniente una protección contra las sobretensiones por medio de pararrayos.
  - b) Cuando el neutro del sistema está puesto a tierra a través de una bobina de extinción y además existe una protección adecuada contra las sobretensiones por medio de pararrayos.
- ✧ En redes e instalaciones conectadas directamente a líneas aéreas:
  - a) Cuando el neutro del sistema está puesto a tierra bien directamente o bien a través de una impedancia de valor pequeño comparado con el de una bobina de extinción y donde exista una adecuada protección contra las sobretensiones mediante pararrayos, teniendo en cuenta la probabilidad de la amplitud y frecuencia de las sobretensiones.
  - b) Cuando el neutro del sistema esté puesto a tierra a través de una bobina de extinción y la protección adecuada contra las sobretensiones esté asegurada por pararrayos.
- ✧ En todos los demás casos, o cuando sea necesario un alto grado de seguridad, se utilizará el material correspondiente a la lista 2.

### 1.2.2. Niveles de aislamiento nominales para materiales del Grupo B

En esta gama de tensiones la elección del nivel de aislamiento debe hacerse principalmente en función de las sobretensiones de tipo rayo que se puedan presentar.

La tabla siguiente especifica los niveles de aislamiento nominales asociados con los valores normalizados de la tensión más elevada para materiales del Grupo B.

TENSIÓN MÁS ELEVADA PARA EL MATERIAL (Um) (kV eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A FRECUENCIA INDUSTRIAL (kV eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO RAYO (kV de cresta)	Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases (mm)
52	95	250	480
72,5	140	325	630
123	185	450	900
	230	550	1100
145	185	450	900
	230	550	1100
	275	650	1300
170	230	550	1100
	275	650	1300
	325	750	1500
245	325	750	1500
	360	850	1700
	395	950	1900
	460	1050	2100

Tabla 3: Niveles de aislamiento nominales del Grupo B

Esta tabla asocia uno o más niveles de aislamiento recomendados a cada valor normalizado de la tensión más elevada para el material.

No se utilizarán tensiones de ensayo intermedias. En los casos donde se dé más de un nivel de aislamiento, el más elevado es el que conviene al material situado en redes provistas de bobina de extinción o en las que el coeficiente de falta a tierra sea superior a 1,4.

Sobre una misma red podrán coexistir varios niveles de aislamiento de acuerdo con la diferente situación de cada instalación.

### 1.2.3. Niveles de aislamiento nominales para materiales del Grupo C

En este grupo de tensiones, la elección del material a instalar es función primordial de las sobretensiones de maniobra que se esperen en la red y el nivel de aislamiento del material se caracteriza por las tensiones soportadas a los impulsos tipo maniobra y tipo rayo.

TENSIÓN MÁS ELEVADA PARA EL MATERIAL (Um) kV (eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A IMPULSOS TIPO RAYO  1,2/50 $\mu$ s kV (valor de cresta)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO MANIOBRA  Fase a tierra 250/2500 $\mu$ s kV (valor de cresta)	Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra (mm)		TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO MANIOBRA  Entre fases 250/2500 $\mu$ s kV (valor de cresta)	Distancia mínima de aislamiento en aire entre fases (mm)	
			Conductor/ estructura (mm) (*)	Punta/ estructura (mm) (*)		Conductor/ conductor (paralelos) (mm) (*)	Punta/ conductor (mm) (*)
420	1050	850	1900	2400	1360	2900	3400
	1175		2200				
	1175	950	2200	2900	1425	3100	3600
	1300		2400				
	1300 1425	1050	2600	3400	1575	3600	4200

(\*) Las configuraciones "punta-estructura" y "punta-conductor" son las más desfavorables que normalmente puede encontrarse; las configuraciones "conductor-estructura" y "conductor-conductor (paralelos) cubren un amplio campo de configuraciones normales y resultan menos desfavorables que las anteriores.

Tabla 4: Niveles de aislamiento nominales del Grupo C

Esta tabla da las combinaciones recomendadas entre las tensiones más elevadas para el material y el nivel de aislamiento. Cuando, debido a las características de la red, o a los métodos elegidos para controlar las sobretensiones de maniobra o de rayo el empleo de combinaciones distintas a las de la tabla quede justificado técnicamente, los valores seleccionados deben tomarse de entre los que figuran en la tabla.

En una misma red pueden coexistir varios niveles de aislamiento, correspondientes a instalaciones situadas en diferentes lugares de la red o a diferentes materiales pertenecientes a una misma instalación.

### 1.3. Nivel de 220kV

- ✧ Tensión nominal: 220 kV
- ✧ Tensión más elevada: 245 kV
- ✧ Tensión a frecuencia industrial de baja duración: 460 kV
- ✧ Tensión a impulso tipo rayo: 1050 kV

### 1.4. Nivel de 132kV

- ✧ Tensión nominal: 132 kV
- ✧ Tensión más elevada: 145 kV
- ✧ Tensión a frecuencia industrial de baja duración: 275 kV
- ✧ Tensión a impulso tipo rayo: 650 kV

### 1.5. Nivel de 45kV

- ✧ Tensión nominal: 45 kV
- ✧ Tensión más elevada: 52 kV
- ✧ Tensión a frecuencia industrial de baja duración: 95 kV
- ✧ Tensión a impulso tipo rayo: 250 kV

## 2. Cálculo de intensidades

En este apartado se muestran tanto el método como el cálculo de las intensidades en circunstancias nominales que tendrá que soportar la instalación.

### 2.1. Formulas

La fórmula necesaria para calcular la intensidad de la instalación es la siguiente:

$$I = \frac{P(kVA)}{\sqrt{3} \cdot V_n(kV) \cdot \cos(\varphi)}$$

Donde:

- ✧ **I**: Intensidad que circula por el punto de la instalación a estudiar (A).
- ✧ **P**: Potencia prevista en el punto de la instalación en el que calculamos la intensidad (kVA).
- ✧ **V<sub>n</sub>**: Tensión nominal en el punto de estudio (kV).
- ✧ **cos φ**: Factor de potencia de la instalación. Se toma como 1 para simplificar y además obtener el mayor valor de corriente posible.

### 2.2. Nivel de 220 kV

El nivel de tensión está comprendido por:

- ✧ Línea de entrada - L<sub>1</sub>
- ✧ Línea de entrada - L<sub>2</sub>
- ✧ Embarrado doble 220 kV - Emb<sub>1</sub>
- ✧ Línea del primario del transformador 1 - L<sub>pT1</sub>

### 2.2.1. Línea de entrada - L<sub>1</sub>

El cálculo de esta línea lo hacemos suponiendo que ha de soportar toda la potencia de la subestación, es decir, los transformadores T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>, para que sea capaz de trabajar a modo completo aun en el caso de que la línea L<sub>2</sub> deje de funcionar por cualquier motivo.

✧ P: 90 MVA

✧ V<sub>n</sub>: 220 kV

$$I = \frac{P(kVA)}{\sqrt{3} \cdot V_n(kV) \cdot \cos \varphi} = \frac{90.000 kVA}{\sqrt{3} \cdot 220 kV \cdot \cos(0)} = 236,19 A$$

### 2.2.2. Línea de entrada - L<sub>2</sub>

Al igual que para la línea L<sub>1</sub>, el cálculo de esta línea lo hacemos para que pueda soportar toda la potencia de la subestación.

✧ P: 90 MVA

✧ V<sub>n</sub>: 220 kV

$$I = \frac{P(kVA)}{\sqrt{3} \cdot V_n(kV) \cdot \cos \varphi} = \frac{90.000 kVA}{\sqrt{3} \cdot 220 kV \cdot \cos(0)} = 236,19 A$$

### 2.2.3. Embarrado doble 220 kV - Emb<sub>1</sub>

El embarrado que se instalara en el nivel de 220 kV estará compuesto por tubos de aluminio 6063-T6 y deberá soportar la corriente que entre por ambas líneas al mismo tiempo, la cual será la misma que la calculada en las dos líneas.

✧ P: 90 MVA

✧ V<sub>n</sub>: 220 kV

$$I = \frac{P(kVA)}{\sqrt{3} \cdot V_n(kV) \cdot \cos \varphi} = \frac{90.000 kVA}{\sqrt{3} \cdot 220 kV \cdot \cos(0)} = 236,19 A$$

#### 2.2.4. Línea del primario del transformador 1 - $L_{pT1}$

Con esta línea alimentaremos al transformador 1, por lo que ha de estar diseñada para soportar la intensidad que demande dicho transformador.

✧ P: 90 MVA

✧  $V_n$ : 220 kV

$$I = \frac{P(kVA)}{\sqrt{3} \cdot V_n(kV) \cdot \cos \varphi} = \frac{90.000 kVA}{\sqrt{3} \cdot 220 kV \cdot \cos(0)} = 236,19 A$$

### 2.3. Nivel de 132 kV

El nivel de tensión está comprendido por:

✧ Línea del secundario del transformador 1 -  $L_{sT1}$

✧ Embarrado doble 132 kV -  $Emb_2$

✧ Línea de salida -  $L_3$

✧ Línea de salida -  $L_4$

✧ Línea del primario del transformador 2 -  $L_{pT2}$

✧ Línea del primario del transformador 3 -  $L_{pT3}$

#### 2.3.1. Línea del secundario del transformador 1 - $L_{sT1}$

Esta línea es la que sale del transformador 1 al nivel de 132 kV, por lo que tendrá que poder aguantar la tensión que el transformador descargue en ella.

✧ P: 90 MVA

✧  $V_n$ : 132 kV

$$I = \frac{P(kVA)}{\sqrt{3} \cdot V_n(kV) \cdot \cos \varphi} = \frac{90.000 kVA}{\sqrt{3} \cdot 132 kV \cdot \cos(0)} = 393,65 A$$

### 2.3.2. Embarrado doble 132 kV - Emb<sub>2</sub>

El embarrado que se instalara en el nivel de 132 kV estará compuesto por tubos de aluminio 6063-T6 y deberá soportar la corriente que entre deriven los dos transformadores al mismo tiempo, por lo que la corriente a resistir será la suma de las dos líneas secundarias de transformador,  $L_{sT1}$  y  $L_{sT1}$ .

◇ P: 90 MVA

◇  $V_n$ : 132 kV

$$I = \frac{P(kVA)}{\sqrt{3} \cdot V_n(kV) \cdot \cos \varphi} = \frac{90.000 kVA}{\sqrt{3} \cdot 132 kV \cdot \cos(0)} = 393,65 A$$

### 2.3.3. Línea de salida - L<sub>3</sub>

Esta línea la dimensionaremos de manera que pueda evacuar toda la corriente proveniente de las líneas del nivel de 220 kV ella sola.

◇ P: 90 MVA

◇  $V_n$ : 132 kV

$$I = \frac{P(kVA)}{\sqrt{3} \cdot V_n(kV) \cdot \cos \varphi} = \frac{90.000 kVA}{\sqrt{3} \cdot 132 kV \cdot \cos(0)} = 393,65 A$$

### 2.3.4. Línea de salida - L<sub>4</sub>

Al igual que la línea anterior, esta se calcula para que en caso de necesidad toda la potencia transformada por el transformador 1 se pueda evacuar por la línea.

◇ P: 90 MVA

◇  $V_n$ : 132 kV

$$I = \frac{P(kVA)}{\sqrt{3} \cdot V_n(kV) \cdot \cos \varphi} = \frac{90.000 kVA}{\sqrt{3} \cdot 132 kV \cdot \cos(0)} = 393,65 A$$

### 2.3.5. Línea del primario del transformador 2 - $L_{pT2}$

Con esta línea alimentaremos al transformador 2, por lo que ha de estar diseñada para soportar la intensidad que demande dicho transformador.

◇ P: 20 MVA

◇  $V_n$ : 132 kV

$$I = \frac{P(kVA)}{\sqrt{3} \cdot V_n(kV) \cdot \cos \varphi} = \frac{20.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 132 \text{ kV} \cdot \cos(0)} = 87,48 \text{ A}$$

### 2.3.6. Línea del primario del transformador 3 - $L_{pT3}$

Esta línea se diseña para aguantar la corriente solicitada por el transformador 3.

◇ P: 30 MVA

◇  $V_n$ : 132 kV

$$I = \frac{P(kVA)}{\sqrt{3} \cdot V_n(kV) \cdot \cos \varphi} = \frac{30.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 132 \text{ kV} \cdot \cos(0)} = 131,22 \text{ A}$$

## 2.4. Nivel de 45 kV

El nivel de tensión está comprendido por:

◇ Línea del secundario del transformador 2 -  $L_{sT2}$

◇ Línea del secundario del transformador 3 -  $L_{sT3}$

◇ Embarrado doble 45 kV -  $Emb_3$

◇ Línea de salida -  $L_5$

◇ Línea de salida -  $L_6$

◇ Línea de salida -  $L_7$

### 2.4.1. Línea del secundario del transformador 2 - L<sub>sT2</sub>

Esta línea es la que sale del transformador 2, por lo que la corriente que ha de soportar esta línea es la que suministre el transformador, en este caso 20MVA.

◇ P: 20 MVA

◇ V<sub>n</sub>: 45 kV

$$I = \frac{P(kVA)}{\sqrt{3} \cdot V_n(kV) \cdot \cos \varphi} = \frac{20.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 45 \text{ kV} \cdot \cos(0)} = 256,60 \text{ A}$$

### 2.4.2. Línea del secundario del transformador 3 - L<sub>sT3</sub>

Esta es la línea que sale del transformador 3, tendrá que soportar la corriente que saque dicho transformador

◇ P: 30 MVA

◇ V<sub>n</sub>: 45 kV

$$I = \frac{P(kVA)}{\sqrt{3} \cdot V_n(kV) \cdot \cos \varphi} = \frac{30.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 45 \text{ kV} \cdot \cos(0)} = 384,90 \text{ A}$$

### 2.4.3. Embarrado doble 45 kV - Emb<sub>3</sub>

Este es un embarrado doble que deberá soportar la corriente suministrada por los dos transformadores de 132/45 kV, la cual será la siguiente:

◇ P: 50 MVA (20 MVA del T<sub>2</sub> + 30 MVA del T<sub>3</sub>)

◇ V<sub>n</sub>: 45 kV

$$I = \frac{P(kVA)}{\sqrt{3} \cdot V_n(kV) \cdot \cos \varphi} = \frac{50.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 45 \text{ kV} \cdot \cos(0)} = 641,50 \text{ A}$$

#### 2.4.4. Línea de salida - L<sub>5</sub>

Esta línea se dimensionara de manera que pueda transportar una potencia mayor a 30 MVA, dado que se trata de una línea de distribución de la que no se conoce su uso.

✧ P: 30 MVA

✧ V<sub>n</sub>: 45 kV

$$I = \frac{P(kVA)}{\sqrt{3} \cdot V_n(kV) \cdot \cos \varphi} = \frac{30.000 kVA}{\sqrt{3} \cdot 45 kV \cdot \cos(0)} = 384,90 A$$

#### 2.4.5. Línea de salida - L<sub>6</sub>

Al igual que la línea anterior, esta línea de distribución se diseña para transportar una potencia mayor a 30 MVA.

✧ P: 30 MVA

✧ V<sub>n</sub>: 45 kV

$$I = \frac{P(kVA)}{\sqrt{3} \cdot V_n(kV) \cdot \cos \varphi} = \frac{30.000 kVA}{\sqrt{3} \cdot 45 kV \cdot \cos(0)} = 384,90 A$$

#### 2.4.6. Línea de salida - L<sub>7</sub>

La tercera línea que sale del nivel de 45 kV se dimensiona de la misma manera que las anteriores.

✧ P: 30 MVA

✧ V<sub>n</sub>: 45 kV

$$I = \frac{P(kVA)}{\sqrt{3} \cdot V_n(kV) \cdot \cos \varphi} = \frac{30.000 kVA}{\sqrt{3} \cdot 45 kV \cdot \cos(0)} = 384,90 A$$

## 2.5. Resumen de intensidades

A continuación se resumen todas las intensidades soportadas por cada línea y embarrado, así como sus tensiones y potencias.

Línea	Tensión (kV)	Potencia (MVA)	Intensidad (A)
L <sub>1</sub>	220	90	236,19
L <sub>2</sub>	220	90	236,19
Emb <sub>1</sub>	220	90	236,19
L <sub>pT1</sub>	220	90	236,19
L <sub>sT1</sub>	132	90	393,65
Emb <sub>2</sub>	132	90	393,65
L <sub>3</sub>	132	90	393,65
L <sub>4</sub>	132	90	393,65
L <sub>pT2</sub>	132	20	87,48
L <sub>pT3</sub>	132	30	131,22
L <sub>sT2</sub>	45	20	256,60
L <sub>sT3</sub>	45	30	384,90
Emb <sub>3</sub>	45	50	641,50
L <sub>5</sub>	45	30	384,90
L <sub>6</sub>	45	30	384,90
L <sub>7</sub>	45	30	384,90

### 3. Cálculo de cortocircuito

Para el cálculo de las intensidades que originan un cortocircuito se tiene en cuenta la corriente de cortocircuito de las líneas, cuyo valor nos lo proporciona la compañía. En nuestro caso, dichos valores se corresponden a 18,5kA para las líneas de 220kV, 16kA para las líneas de 132kV y 10kA para las líneas de 45kV.

Con estos datos calculamos la potencia de cortocircuito de las líneas, de las cuales elegiremos una, la de las líneas de 220kV, como potencia de base para realizar los cálculos correspondientes del cálculo de las corrientes de cortocircuito. La fórmula es la siguiente:

$$P_{cc}(MVA) = \sqrt{3} \cdot I_{cc}(kA) \cdot V_n(kV)$$

Con los datos de intensidad citados anteriormente procedemos al cálculo de las potencias de cortocircuito de las líneas.

$$P_{cc220kV} = \sqrt{3} \cdot 18,5 \cdot 220 = 7049,45 \text{ MVA} = P_{base}$$

$$P_{cc132kV} = \sqrt{3} \cdot 16 \cdot 132 = 4018,36 \text{ MVA}$$

$$P_{cc45kV} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 45 = 779,43 \text{ MVA}$$

Conocidas las potencias de cortocircuito y las reactancias de cortocircuito de los transformadores, que serán del 15% la del autotransformador de 220/132kV y del 12% la de los dos transformadores restantes, tanto el de 20MVA como el de 30MVA, se procede al cálculo de las reactancias por unidad. Para el cálculo se utilizan las siguientes formulas:

✧ Para las líneas:

$$X_{linea} = \frac{P_{base}}{P_{cc}}$$

✧ Para los transformadores:

$$X_{trafo} = \frac{\% \cdot P_{base}}{100 \cdot P_{trafo}}$$

El cálculo de las reactancias queda de la siguiente manera:

$$X_{220kV} = \frac{P_{base}}{P_{cc220kV}} = \frac{7049,45 \text{ MVA}}{7049,45 \text{ MVA}} = 1 \text{ pu}$$

$$X_{132kV} = \frac{P_{base}}{P_{cc132kV}} = \frac{7049,45 \text{ MVA}}{4018,36 \text{ MVA}} = 1,755 \text{ pu}$$

$$X_{45kV} = \frac{P_{base}}{P_{cc45kV}} = \frac{7049,45 \text{ MVA}}{779,43 \text{ MVA}} = 9,045 \text{ pu}$$

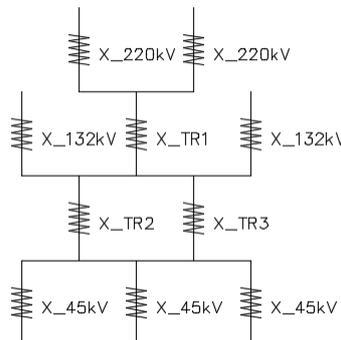
$$X_{TR1} = \frac{\% \cdot P_{base}}{100 \cdot P_{trafo 1}} = \frac{15 \cdot 7049,45 \text{ MVA}}{100 \cdot 90 \text{ MVA}} = 11,749 \text{ pu}$$

$$X_{TR2} = \frac{\% \cdot P_{base}}{100 \cdot P_{trafo 2}} = \frac{12 \cdot 7049,45 \text{ MVA}}{100 \cdot 20 \text{ MVA}} = 42,297 \text{ pu}$$

$$X_{TR3} = \frac{\% \cdot P_{base}}{100 \cdot P_{trafo 3}} = \frac{12 \cdot 7049,45 \text{ MVA}}{100 \cdot 30 \text{ MVA}} = 28,198 \text{ pu}$$

La corriente de cortocircuito se ha de calcular en cada uno de los puntos en los que puede darse una falta, los cuales estarán situados en las zonas de las barras.

El esquema simplificado de las impedancias es el siguiente:



### 3.1. Cortocircuito en barras de 220kV

La impedancia equivalente vista desde el punto de cortocircuito en las barras de 220kV se calcula mediante la siguiente formula:

$$X_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{\frac{X_{220kV}}{2}} + \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{X_{TR2}} + \frac{1}{X_{TR3}}} + \frac{X_{45kV}}{3}} + \frac{X_{132kV}}{2}} + X_{TR1}}} = 0,481 \text{ pu}$$

Con la impedancia equivalente calculada y la potencia de base se calcula la potencia de cortocircuito en el punto en el cual se ha producido la falta.

$$P_{cc} = \frac{P_{base}}{X_{eq}} = \frac{7049,45 \text{ MVA}}{0,481} = 14658,96 \text{ MVA}$$

Una vez obtenida la potencia de cortocircuito, se calcula la intensidad de cortocircuito, que depende del nivel de tensión en el que se encuentra, en este caso 220kV.

$$I_{cc} (\text{kA}) = \frac{P_{cc} (\text{MVA})}{\sqrt{3} \cdot V (\text{kV})} = \frac{14658,96}{\sqrt{3} \cdot 220} = 38,47 \text{ kA}$$

### 3.2. Cortocircuito en barras de 132kV

La impedancia equivalente vista desde el punto de cortocircuito en las barras de 132kV se calcula mediante la siguiente formula:

$$X_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{\frac{X_{220kV}}{2} + X_{TR1}} + \frac{1}{\frac{X_{132kV}}{2}} + \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{X_{TR2}} + \frac{1}{X_{TR3}}} + \frac{X_{45kV}}{3}}} = 0,785 \text{ pu}$$

Con la impedancia equivalente calculada y la potencia de base se calcula la potencia de cortocircuito en el punto en el cual se ha producido la falta.

$$P_{cc} = \frac{P_{base}}{X_{eq}} = \frac{7049,45 \text{ MVA}}{0,785} = 8988,65 \text{ MVA}$$

Una vez obtenida la potencia de cortocircuito, se calcula la intensidad de cortocircuito, que depende del nivel de tensión en el que se encuentra, en este caso 132kV.

$$I_{cc} (\text{kA}) = \frac{P_{cc} (\text{MVA})}{\sqrt{3} \cdot V (\text{kV})} = \frac{8988,65}{\sqrt{3} \cdot 132} = 39,32 \text{ kA}$$

### 3.3. Cortocircuito en barras de 45kV

La impedancia equivalente vista desde el punto de cortocircuito en las barras de 45kV se calcula mediante la siguiente formula:

$$X_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{\frac{X_{220kV}}{2} + X_{TR1}} + \frac{1}{\frac{X_{132kV}}{2}}} + \frac{1}{\frac{1}{X_{TR2}} + \frac{1}{X_{TR3}}} + \frac{1}{\frac{X_{45kV}}{3}}} = 2,58 pu$$

Con la impedancia equivalente calculada y la potencia de base se calcula la potencia de cortocircuito en el punto en el cual se ha producido la falta.

$$P_{cc} = \frac{P_{base}}{X_{eq}} = \frac{7049,45 MVA}{2,58} = 2735,71 MVA$$

Una vez obtenida la potencia de cortocircuito, se calcula la intensidad de cortocircuito, que depende del nivel de tensión en el que se encuentra, en este caso 45kV.

$$I_{cc}(kA) = \frac{P_{cc} (MVA)}{\sqrt{3} \cdot V (kV)} = \frac{2735,71}{\sqrt{3} \cdot 45} = 35,10 kA$$

### 3.4. Resumen de intensidades de cortocircuito

A continuación se resumen todas las intensidades de cortocircuito.

PUNTO	CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (kA)
Barras 220kV	38,47
Barras 132kV	39,32
Barras 45kV	35,10

## 4. Autoválvulas

### 4.1. Protección contra sobretensiones

Las instalaciones eléctricas deberán protegerse contra las sobretensiones peligrosas tanto de origen interno como de origen atmosférico, de carácter transitorio, cuando la importancia de la instalación, el valor de las sobretensiones y su frecuencia de ocurrencia, así lo aconsejen.

Para la protección contra sobretensiones transitorias se utilizarán pararrayos, según la UNE-EN 60099-1 y UNE-EN 60099-4. Los bornes de tierra de los pararrayos y, en su caso, los cables de guarda, se unirán a la toma de tierra de acuerdo con lo establecido en la ITC-RAT 13.

En general, en redes o instalaciones de tercera categoría no conectadas a líneas aéreas no serán precisas estas protecciones cuando su nivel de aislamiento sea el de la lista 2 según la ITC-RAT 12.

La protección contra sobretensiones tiene por objeto preservar los elementos que constituyen una instalación por la acción perjudicial de las sobretensiones que pueden aparecer durante el servicio.

Podemos distinguir entre dos clases de sobretensiones:

- ✧ Sobretensiones de origen externo: se incluyen en este grupo, las sobretensiones que tienen una procedencia exterior a la instalación y en los que, por lo tanto sus amplitudes no están en relación directa con la tensión de servicio de la instalación afectada. Comprenden, sobre todo, las sobretensiones de origen atmosférico, tales como rayos, cargas estáticas de las líneas, etc...
- ✧ Sobretensiones de origen interno: son las producidas al variar las propias condiciones de servicio de la instalación. A este grupo pertenecen las oscilaciones de intensidad de corriente, las variaciones de carga, las descargas a tierra, etc...

## 4.2. Introducción

Siguiendo la guía básica para la selección de pararrayos de inael, se pretende cubrir los criterios de selección cuando los pararrayos se conectan entre fase y tierra.

El objetivo básico que se pretende conseguir con la utilización de pararrayos es dar el mayor margen de protección, contra sobretensiones, al equipo que se pretende proteger. En un equipo adecuadamente protegido por un pararrayos, las sobretensiones nunca podrán alcanzar valores superiores a aquellas que el equipo puede soportar.

Una forma de definir el margen de protección es:

$$MP = \left( \frac{NA}{NP} - 1 \right) \cdot 100 \geq 33\%$$

- ✧ **NA: Nivel de asilamiento.** Es el valor de la tensión soportada por el equipo a los impulsos tipo rayo. Si el equipo sólo se clasifica por tensión soportada con dichos impulsos, el valor máximo de su tensión será de 245 kV.
- ✧ **NP: Nivel de protección del pararrayos.** Este valor se corresponde con la tensión residual del pararrayos para un impulso de corriente correspondiente a la intensidad nominal de descarga (10kA)

Para seleccionar el pararrayos debemos averiguar algunos parámetros fundamentales del mismo:

- ✧ Intensidad nominal de descarga/capacidad de absorción de energía.
- ✧ Tensión nominal.
- ✧ Capacidad para soportar sobretensiones temporales.

#### 4.2.1. Intensidad nominal de descarga/capacidad de absorción de energía.

En la norma UNE-EN 60099-4 la capacidad de absorción de energía de un pararrayos, está directamente relacionada con su corriente nominal de descarga, y se selecciona exclusivamente en función del valor de la corriente prevista que va a circular por el pararrayos.

Según CEI 99-5 (Recomendación para la selección y utilización de pararrayos), los pararrayos de 10 kA de *capacidad* nominal de descarga serán los de utilización preferente en las redes de hasta 245 kV de tensión máxima, aunque en algunos casos podrían utilizarse pararrayos de 5 kA. En las redes cuya tensión está comprendida entre 245 kV y 420 kV, la citada norma indica que los pararrayos de 10 kA de corriente nominal de descarga son, normalmente, suficientes para la protección de las mismas.

#### 4.2.2. Tensión nominal

A la hora de seleccionar la tensión nominal de un pararrayos, el criterio básico es localizar el pararrayos de menor tensión nominal que pueda estar en servicio, garantizando una eficaz protección, durante un largo tiempo. Los pararrayos tipo ZS, ZSH, INZP-MC3 y ZSP, tienen valores de las tensiones asignadas de acuerdo con los valores establecidos en la norma UNE-EN 60099-4 de la misma manera las tensiones de servicio continuo  $U_c$  cumplen con lo especificado en la citada norma.

La tensión asignada de los pararrayos, y en consecuencia su tensión de funcionamiento continuo, debe ser seleccionada de acuerdo con los siguientes criterios:

- ✧ En las redes con eliminación automática de los defectos a tierra, la tensión de funcionamiento continuo del pararrayos, debe ser igual o superior a la tensión máxima fase-tierra multiplicada por 1,05. Este factor tiene en cuenta, en las redes normales, el aumento del valor de cresta de la tensión debida a armónicos.

- ✧ 
$$U_c = \frac{U_{m\acute{a}x}}{\sqrt{3}} \cdot 1,05$$

- ✧ En las redes con neutro aislado o puesto a tierra por medio de una bobina de compensación, sin eliminación automática de los defectos a tierra, cuando no se conoce la duración de dicho defecto, el valor de la tensión del funcionamiento continuo del pararrayos debe ser igual a la máxima tensión fase-tierra.

- ✧ 
$$U_c = U_{m\acute{a}x}$$

No obstante, si se conoce el valor y la duración de las sobretensiones en la red, podrá seleccionarse un valor más bajo de la  $U_r$ .

Los valores de las tensiones asignadas serán aquellos que se correspondan con las tensiones de funcionamiento continuo seleccionadas.

### **4.2.3. Capacidad para soportar sobretensiones temporales**

En las líneas eléctricas pueden producirse sobretensiones temporales por diversos motivos entre los que cabe destacar:

- ✧ Defectos a tierra.
- ✧ Pérdidas repentinas de la carga.

#### **4.2.3.1. Defectos a tierra**

Las sobretensiones debidas a defectos a tierra se producen con facilidad en gran parte de las redes, y se deben a que un cortocircuito de ese tipo en una fase de un circuito, produce una elevación de la tensión a tierra de las otras dos fases que, cuando el neutro está aislado o puesto a tierra por medio de una impedancia, pueden alcanzar valores iguales a la máxima entre fases. Con neutros rígidos a tierra, las sobretensiones no alcanzan valores superiores al 140% de la tensión máxima.

La duración de estas sobretensiones es igual al tiempo que tarda en despejarse la falta.

En las redes con eliminación automática de la falta a tierra, este tiempo no es superior a 1 s.

En las redes con neutro aislado o puesto a tierra por medio de una bobina de compensación, la duración del defecto a tierra no suele ser superior a 10 s.

#### 4.2.3.2. Pérdidas repentinas de carga

En las redes hasta 72 kV, la pérdida repentina de la carga puede producir sobretensiones con un valor máximo de 1,2 veces la tensión nominal y una duración de unos pocos minutos.

En las grandes redes, la repentina pérdida de carga puede producir elevaciones de tensión que pueden alcanzar 1,5 veces la tensión a tierra o incluso algo más, cuando simultáneamente ocurren efectos Ferranti o de resonancia.

El efecto de las sobretensiones es incrementar la corriente que circula por el pararrayos y en consecuencia aumenta la energía consumida por el mismo, produciéndose una elevación en su temperatura que puede, según los valores, afectar a la estabilidad térmica del pararrayos.

Los tiempos que los pararrayos pueden soportar diferentes valores de sobretensiones se indican en las curvas correspondientes a cada tipo de pararrayos. Estos tiempos se han determinado sobre pararrayos que previamente han absorbido una importante energía, en términos generales la correspondiente a dos impulsos de larga duración más un determinado tiempo trabajando a la tensión máxima de funcionamiento continuo.

### 4.3. Método de calculo

El cálculo de la tensión asignada  $U_r$  se procede de manera diferente en función de si el neutro es aislado o esta rígidamente puesto a tierra.

✧ Neutro rígidamente a tierra:  $U_r = \frac{U_{m\acute{a}x}}{T_c} \cdot 0,81$

✧ Neutro aislado:  $U_r = \frac{U_{m\acute{a}x}}{T_c}$

$T_c$  es un valor que nos proporciona el fabricante y que en nuestro caso será 1,22.

Además, hay que conocer los niveles de aislamiento (NA) y de protección (NP) definidos en el apartado 4.2 Introducción.

El valor de NA lo hemos calculado ya con anterioridad en el apartado 1.1 Aislamiento, mientras que el NP se calcula de la siguiente manera:

En la tabla de características de funcionamiento buscamos los valores correspondientes de:

✧  $U_{\text{maniobra}}$

✧  $U_{\text{residual (10kA)}}$

✧  $U_{\text{frente de onda}}/1,15$

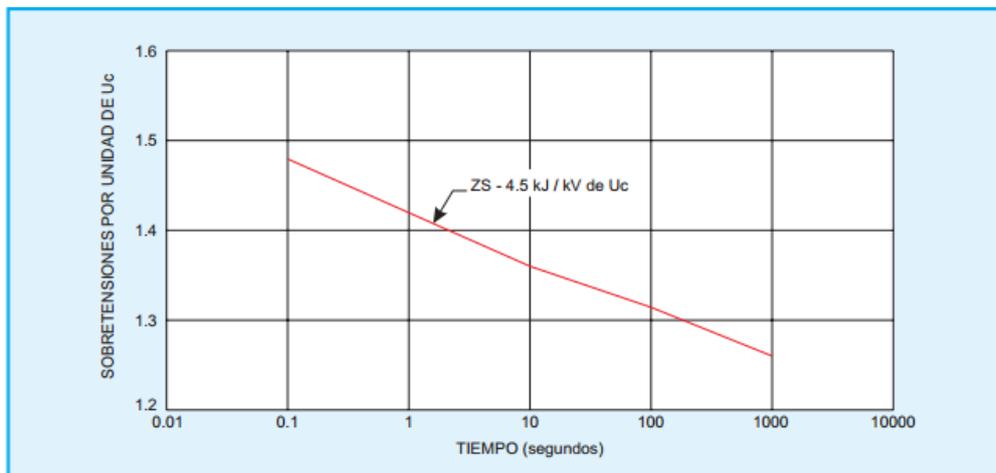
La tabla de características es:

CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO

Tensión Asignada $U_r$ (kV eficaces)	Tensión Continua $U_c^*$ (kV eficaces)	STT <sup>(1)</sup>		Equivalente al frente de onda <sup>**</sup> (kV cresta)	Máxima sobretensión de maniobra <sup>***</sup> (kV cresta)	Tensión residual máxima (kV cresta) Usando una onda de corriente 8/20 $\mu$ seg						
		1 s (kV eficaces)	10 s (kV eficaces)			1.5 kA	3 kA	5 kA	10 kA	15 kA	20 kA	40 kA
3	2.55	3.7	3.5	7.4	5.7	6.5	6.8	6.9	7.3	7.7	8.0	8.6
6	5.10	7.4	7.1	14.7	11.3	13.1	13.5	13.9	14.6	15.5	16.1	17.2
9	7.65	11.1	10.6	22.1	17.0	19.6	20.3	20.8	21.8	23.2	24.1	25.8
10	8.40	12.2	11.6	24.5	18.9	21.8	22.5	23.2	24.3	25.8	26.8	28.7
12	10.2	14.8	14.1	29.4	22.6	26.2	27.0	27.8	29.1	31.0	32.1	34.4
15	12.7	18.4	17.6	36.8	28.3	32.7	33.8	34.7	36.4	38.7	40.1	43.0
18	15.3	22.2	21.2	44.1	34.0	39.3	40.5	41.7	43.7	46.5	48.2	51.6
21	17.0	24.7	23.5	51.5	39.6	45.8	47.3	48.6	51.0	54.2	56.2	60.2
24	19.5	28.3	27.0	56.4	43.4	50.2	51.8	53.3	55.8	59.2	61.5	65.9
27	22.0	32.0	30.4	63.7	49.1	56.7	58.5	60.2	63.1	67.2	69.6	74.5
30	24.4	35.4	33.8	71.1	54.7	63.3	65.3	67.1	70.4	74.9	77.6	83.1
36	29.0	42.1	40.1	84.1	64.8	74.9	77.3	79.5	83.3	88.7	91.8	98.4
39	31.5	45.8	43.6	91.5	70.4	81.4	84.1	86.4	90.6	96.4	100	107
45	36.5	53.0	50.5	107	82.4	95.3	98.3	101	106	113	117	125
48	39.0	56.7	54.0	113	86.8	100	104	107	112	119	123	132
54	42.0	61.0	58.1	118	90.7	105	108	111	117	124	129	138
60	48.0	69.7	66.4	134	103	120	123	127	133	142	147	157
66	54.0	78.4	74.7	151	116	134	139	143	149	159	165	177
72	57.0	82.8	78.9	160	124	143	147	152	159	169	175	188
90	70.0	102	96.9	199	153	177	183	188	197	210	217	233
96	76.0	110	105	218	168	194	200	206	216	230	238	255
108	84.0	122	116	235	181	210	216	222	233	248	257	275
120	98.0	142	136	273	224	243	251	258	271	288	298	320
132	106	154	147	302	248	269	277	285	299	318	329	353
144	115	167	159	321	263	286	295	303	318	338	350	375
168	131	190	181	370	303	329	340	349	366	390	404	432
172	140	203	194	391	321	348	359	370	387	412	427	457
180	144	209	199	403	330	359	370	381	399	425	440	471
192	152	221	210	424	348	378	390	401	420	447	463	496
228	180	261	249	521	428	464	479	493	516	550	569	610
240	190	276	263	537	452	478	494	508	532	566	586	628

- \*  $U_c$  = Tensión máxima de funcionamiento continuo.
- \*\* La tensión residual equivalente al frente de onda es el valor máximo correspondiente a una onda de corriente de impulso de 5 kA, que produce una onda de tensión cuya cresta se alcanza en 0,5  $\mu$ seg.
- \*\*\* Basado en una onda de tipo 45/90  $\mu$ seg y los siguientes valores de la corriente: 500 A para las tensiones asignadas comprendidas entre 3 kV y 96 kV, 1,000 A para las tensiones asignadas comprendidas entre 120 y 240 kV.
- 1 Sobretensiones temporales en pararrayos nuevos.

La tabla de características citada anteriormente tan solo es válida para los tiempos de descarga correspondientes a la siguiente tabla:



#### 4.4. Autovalvulas Nivel 220 kV

Para este nivel de tensión, las autovalvulas a colocar serán con el neutro rigidamente a tierra.

La tensión más elevada según reglamento para 220 kV es de 245 kV.

✧ Tensión asignada ( $U_r$ ):

$$U_r = \frac{U_{m\acute{a}x}}{T_c} \cdot 0,81 = \frac{245}{1,22} \cdot 0,81 = 162,66 \text{ kV}$$

✧ Nivel de aislamiento (NA):

- $NA_{220kV} = 1050 \text{ kV}$

✧ Nivel de protección (NP):

Con el valor de tensión asignada calculado antes, 162,66 kV, buscando en la tabla de características de funcionamiento y con el valor inmediatamente superior, en nuestro caso 168 kV, obtenemos los siguientes datos:

- $U_{maniobra} = 303 \text{ kV}$
- $U_{residual (10kV)} = 366 \text{ kV}$
- $U_{frente de onda/1,15} = 321,74 \text{ kV}$

Como nivel de protección cogemos el mayor de los tres valores obtenidos, en este caso el de 366 kV

Con los datos anteriores procedemos al cálculo del margen de protección:

$$MP = \left( \frac{NA}{NP} - 1 \right) \cdot 100 = \left( \frac{1050}{366} - 1 \right) \cdot 100 = 186,88\% \geq 33\%$$

Como podemos comprobar, cumple sobradamente el margen de protección.

## 4.5. Autovalvulas Nivel 132 kV

Para este nivel de tensión, las autovalvulas a colocar serán con el neutro rigidamente a tierra.

La tensión más elevada según reglamento para 132 kV es de 145 kV.

✧ Tensión asignada ( $U_r$ ):

$$U_r = \frac{U_{m\acute{a}x}}{T_c} \cdot 0,81 = \frac{145}{1,22} \cdot 0,81 = 96,27 \text{ kV}$$

✧ Nivel de aislamiento (NA):

- $NA_{220kV} = 650 \text{ kV}$

✧ Nivel de protección (NP):

Con el valor de tensión asignada calculado antes, 96,27 kV, buscando en la tabla de características de funcionamiento y con el valor inmediatamente superior, en nuestro caso 108 kV, obtenemos los siguientes datos:

- $U_{maniobra} = 181 \text{ kV}$
- $U_{residual (10kV)} = 233 \text{ kV}$
- $U_{frente de onda/1,15} = 204,31 \text{ kV}$

Como nivel de protección cogemos el mayor de los tres valores obtenidos, en este caso el de 233 kV

Con los datos anteriores procedemos al cálculo del margen de protección:

$$MP = \left( \frac{NA}{NP} - 1 \right) \cdot 100 = \left( \frac{650}{233} - 1 \right) \cdot 100 = 178,96\% \geq 33\%$$

Como podemos comprobar, cumple sobradamente el margen de protección.

## 4.6. Autovalvulas Nivel 45 kV

Para este nivel de tensión, las autovalvulas a colocar serán con el neutro rigidamente a tierra.

La tensión más elevada según reglamento para 45 kV es de 52 kV.

✧ Tensión asignada ( $U_r$ ):

$$U_r = \frac{U_{m\acute{a}x}}{T_c} \cdot 0,81 = \frac{52}{1,22} \cdot 0,81 = 34,52 \text{ kV}$$

✧ Nivel de aislamiento (NA):

- $NA_{220kV} = 250 \text{ kV}$

✧ Nivel de protección (NP):

Con el valor de tensión asignada calculado antes, 34,52 kV, buscando en la tabla de características de funcionamiento y con el valor inmediatamente superior, en nuestro caso 36 kV, obtenemos los siguientes datos:

- $U_{maniobra} = 64,8 \text{ kV}$
- $U_{residual (10kV)} = 83,3 \text{ kV}$
- $U_{frente de onda}/1,15 = 73,13 \text{ kV}$

Como nivel de protección cogemos el mayor de los tres valores obtenidos, en este caso el de 83,3 kV

Con los datos anteriores procedemos al cálculo del margen de protección:

$$MP = \left( \frac{NA}{NP} - 1 \right) \cdot 100 = \left( \frac{250}{83,3} - 1 \right) \cdot 100 = 200,12\% \geq 33\%$$

Como podemos comprobar, cumple sobradamente el margen de protección.

## 5. Aisladores

### 5.1. Generalidades

Los aisladores normalmente comprenden cadenas de unidades de aisladores del tipo caperuza y vástago o del tipo bastón, y aisladores rígidos de columna o peana. Pueden ser fabricados usando materiales cerámicos (porcelana), vidrio, aislamiento compuesto de goma de silicona, poliméricos u otro material de características adecuadas a su función. Se pueden utilizar combinaciones de estos aisladores sobre algunas líneas aéreas.

Los aisladores deben ser diseñados, seleccionados y ensayados para que cumplan los requisitos eléctricos y mecánicos determinados en los parámetros de diseño de las líneas aéreas.

Los aisladores deben resistir la influencia de todas las condiciones climáticas, incluyendo las radiaciones solares. Deben resistir la polución atmosférica y ser capaces de funcionar satisfactoriamente cuando estén sujetos a las condiciones de polución.

#### 5.1.1. Requisitos eléctricos normalizados

El diseño de aisladores deberá ser tal que se respeten las tensiones soportadas según el apartado 4.4 de esta ITC.

#### 5.1.2. Requisitos para el comportamiento bajo polución

Los aisladores deberán cumplir con los requisitos especificados para su comportamiento bajo polución.

En el apartado 4.4.1 se dan indicaciones sobre la selección de aisladores para su uso en condiciones de polución.

#### 5.1.3. Requisitos mecánicos

El diseño de los aisladores de una línea aérea deberá ser tal que satisfagan los requisitos mecánicos determinados en el apartado 3.4 de esta ITC.

#### 5.1.4. Requisitos de durabilidad

La durabilidad de un aislador está influenciada por el diseño, la elección de los materiales y los procedimientos de fabricación. Todos los materiales usados en la construcción de aisladores para líneas aéreas, deberán ser inherentemente resistentes a la corrosión atmosférica, que puede afectar a su funcionamiento.

Puede obtenerse un indicador de la durabilidad de las cadenas de aisladores de material cerámico o vidrio, a partir de los ensayos termo-mecánicos especificados en la norma UNE-EN 60383-1. En casos especiales, puede ser necesario considerar las características de fatiga, mediante los ensayos apropiados indicados en las Especificaciones del Proyecto.

Todos los materiales férreos, distintos del acero inoxidable, usados en aisladores de líneas aéreas deberán ser protegidos contra la corrosión debida a las condiciones atmosféricas. La forma habitual de protección deberá ser un galvanizado en caliente, que deberá cumplir los requisitos de ensayo indicados en la norma UNE-EN 60383-1.

Para instalaciones en condiciones especialmente severas, puede indicarse un aumento del espesor de zinc en las especificaciones del proyecto.

#### 5.1.5. Características y dimensiones de los aisladores

Las características y dimensiones de los aisladores utilizados para la construcción de líneas aéreas deben cumplir, siempre que sea posible, con los requisitos dimensionales de las siguientes normas:

- ✧ **UNE-EN 60305 y UNE-EN 60433**, para elementos de cadenas de aisladores de vidrio o cerámicos.
- ✧ **UNE-EN 61466-1 y UNE-EN 61466-2**, para aisladores de aislamiento compuesto de goma de silicona;
- ✧ **CEI 60720**, para aisladores rígidos de columna o peana.

Se pueden incluir en las especificaciones del proyecto tipos de aisladores aprobados con dimensiones diferentes de las especificadas por las normas anteriormente indicadas. El resto de las características deberán ser conformes con las normas aplicables según el tipo de aislador.

## 5.2. Método de cálculo

El cálculo de los aisladores se realiza de la siguiente manera:

- ✧ Se busca en la tabla 14 la ITC-LAT 07 del reglamento de líneas aéreas el valor correspondiente de línea de fuga mínima en función del nivel de contaminación.

Nivel de contaminación	Ejemplos de entornos típicos	Línea de fuga específica nominal mínima mm/kV <sup>1)</sup>
I Ligero	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zonas sin industrias y con baja densidad de viviendas equipadas con calefacción.</li> <li>- Zonas con baja densidad de industrias o viviendas, pero sometidas a viento o lluvias frecuentes.</li> <li>- Zonas agrícolas <sup>2</sup></li> <li>- Zonas montañosas</li> <li>- Todas estas zonas están situadas al menos de 10 km a 20 km del mar y no están expuestas a vientos directos desde el mar <sup>3</sup></li> </ul>	16,0
II Medio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zona con industrias que no producen humo especialmente contaminante y/o con densidad media de viviendas equipadas con calefacción.</li> <li>- Zonas con elevada densidad de viviendas y/o industrias pero sujetas a vientos frecuentes y/o lluvia.</li> <li>- Zonas expuestas a vientos desde el mar, pero no muy próximas a la costa (al menos distantes bastantes kilómetros)<sup>3</sup>.</li> </ul>	20,0
III Fuerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zonas con elevada densidad de industrias y suburbios de grandes ciudades con elevada densidad de calefacción generando contaminación.</li> <li>- Zonas cercanas al mar o en cualquier caso, expuestas a vientos relativamente fuertes provenientes del mar 3).</li> </ul>	25,0
IV Muy fuerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zonas, generalmente de extensión moderada, sometidas a polvos conductores y a humo industrial que produce depósitos conductores particularmente espesos.</li> <li>- Zonas, generalmente de extensión moderada, muy próximas a la costa y expuestas a pulverización salina o a vientos muy fuertes y contaminados desde el mar.</li> <li>- Zonas desérticas, caracterizadas por no tener lluvia durante largos periodos, expuestas a fuertes vientos que transportan arena y sal, y sometidas a condensación regular.</li> </ul>	31,0

<sup>1)</sup> Línea de fuga mínima de aisladores entre fase y tierra relativas a la tensión más elevada de la red (fase-fase).  
<sup>2)</sup> Empleo de fertilizantes por aspiración o quemado de residuos, puede dar lugar a un mayor nivel de contaminación por dispersión en el viento.  
<sup>3)</sup> Las distancias desde la costa marina dependen de la topografía costera y de las extremas condiciones del viento.

- ✧ Se elige el tipo de aislador que se pretende utilizar y se buscan los datos de:
  - a) Paso nominal
  - b) Línea de fuga mínima nominal
- ✧ Con el valor de tensión más elevada de la línea ( $U_s$ ), el valor del nivel de aislamiento obtenido ( $N$ ) y la línea de fuga mínima nominal ( $L_f$ ) calculamos el número de aisladores necesarios redondeando a la alza y le sumamos uno por seguridad.

$$n = \frac{N \cdot U_s}{L_f} + 1$$

- ✧ Se busca en la tabla 12 la ITC-LAT 07 del reglamento de líneas aéreas el valor correspondiente a las tensiones de aislamiento para el nivel de tensión.

Tensión más elevada para el material $U_m$ kV (valor eficaz)	Tensión soportada normalizada de corta duración a frecuencia industrial kV (valor eficaz)	Tensión soportada normalizada a los impulsos tipo rayo kV (valor de cresta)
3,6	10	20
		40
7,2	20	40
		60
12	28	60
		75
		95
17,5	38	75
		95
24	50	95
		125
		145
36	70	145
		170
52	95	250
72,5	140	325
123	(185)	450
	230	550
145	(185)	(450)
	230	550
	275	650
170	(230)	(550)
	275	650
	325	750
245	(275)	(650)
	(325)	(750)
	360	850
	395	950
	460	1 050

NOTA: Si los valores entre paréntesis son insuficientes para probar que las tensiones soportadas especificadas entre fases se cumplen, se requieren ensayos complementarios de tensiones soportadas entre fases.

- ✧ En la tabla de características eléctricas de las cadenas de conformidad con la IEC 60383 buscamos el valor en función de los datos línea de fuga, paso y número (calculado antes) de nuestro tipo de aislador de las columnas B y C.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LAS CADENAS DE CONFORMIDAD CON LA IEC 60383																		
MODELOS ESTANDAR - TENSIONES SOPORTADAS KV																		
N	OxP: 175 x 100 mm E-40-100			OxP: 255 x 127 mm E-70-127; E-100-127			OxP: 255 x 146 mm E-70-146; E-100-146; E-120-146			OxP: 280 x 146 mm E-160-146			OxP: 280 x 170 mm E-160-170; E-210-170; E-240-170			OxP: 330 x 195 mm E-300-195		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	50	32	70	70	40	100	70	40	100	75	45	110	75	45	110	85	50	130
2	92	54	133	120	72	190	130	75	190	130	75	190	135	75	205	150	85	225
3	130	78	195	165	105	260	180	110	270	180	110	270	190	110	285	215	120	315
4	165	102	255	205	135	320	225	140	340	225	140	340	240	145	360	275	160	405
5				245	165	380	270	175	410	270	175	410	290	185	440	330	200	495
6				285	195	435	315	210	480	315	210	480	335	220	520	385	235	580
7				325	225	490	360	245	550	360	245	550	380	255	600	440	270	665
8				365	260	550	405	280	620	405	280	620	430	290	675	490	310	745
9				400	290	615	450	310	690	450	310	690	475	325	755	540	350	830
10				440	320	675	490	345	760	490	345	760	520	360	835	590	385	910
11				475	345	735	530	375	830	530	375	830	565	390	915	645	420	990
12				510	370	795	570	405	900	570	405	900	610	420	990	695	455	1070
13				545	395	860	610	435	970	610	435	970	655	450	1065	740	490	1150
14				580	425	925	650	465	1035	650	465	1035	695	485	1140	785	525	1230
15				615	450	985	690	495	1100	690	495	1100	740	515	1215	830	560	1315
16				650	475	1045	725	525	1165	725	525	1165	785	550	1290	875	590	1395
17				685	500	1105	765	555	1230	765	555	1230	830	580	1360	925	625	1475
18				715	525	1165	800	585	1295	800	585	1295	875	610	1435	970	655	1555
19				750	550	1225	840	610	1360	840	610	1360	920	640	1510	1015	690	1640
20				780	575	1280	875	640	1425	875	640	1425	965	670	1580	1060	720	1720
21				815	600	1340	915	670	1490	915	670	1490	1005	700	1650	1110	755	1795
22				850	625	1400	950	700	1565	950	700	1565	1050	730	1725	1155	785	1875
23				880	650	1455	985	725	1620	985	725	1620	1095	760	1795	1200	820	1950
24				915	675	1510	1025	755	1680	1025	755	1680	1140	790	1870	1245	850	2025
25				945	700	1570	1060	785	1745	1060	785	1745	1180	820	1940	1290	880	2100
26				975	725	1625	1100	815	1805	1100	815	1805	1225	845	2010	1330	910	2175
27				1010	750	1680	1135	840	1870	1135	840	1870	1270	875	2080	1375	940	2250
28				1040	775	1730	1170	865	1935	1170	865	1935	1310	900	2150	1420	970	2320
29				1070	800	1780	1205	895	2000	1205	895	2000	1355	930	2220	1460	1000	2400
30				1100	825	1835	1240	920	2060	1240	920	2060	1395	955	2290	1505	1030	2475

A: Tensión soportada a frecuencia industrial en seco  
B: Tensión soportada a frecuencia industrial bajo lluvia  
C: Tensión soportada al impulso tipo rayo 1,2/50

- ✧ Tenemos que comprobar que los valores de esta última tabla son mayores que los de aislamiento buscado anteriormente.

- ✧ Se busca en la tabla 15 la ITC-LAT 07 del reglamento de líneas aéreas el valor de la distancia eléctrica para el nivel de tensión.
- ✧ La distancia mínima de aislamiento es un 10% mayor a la encontrada anteriormente en la tabla 15.

Tensión más elevada de la red $U_s$ (kV)	$D_{el}$ (m)	$D_{pp}$ (m)
3,6	0,08	0,10
7,2	0,09	0,10
12	0,12	0,15
17,5	0,16	0,20
24	0,22	0,25
30	0,27	0,33
36	0,35	0,40
52	0,60	0,70
72,5	0,70	0,80
123	1,00	1,15
145	1,20	1,40
170	1,30	1,50
245	1,70	2,00
420	2,80	3,20

- ✧ Cumplirá cuando la suma de los pasos de los aisladores a instalar supere la distancia mínima de aislamiento.

### 5.3. Aisladores Nivel 220 kV

Para este nivel de tensión se ha decidido colocar una cadena de aisladores tipo E 120 cuyas características son:

- ✧ Clase: U120B
- ✧ **Material:** Vidrio templado
- ✧ Peso neto aproximado: 3,8 kg
- ✧ Línea de fuga: 295 mm
- ✧ **Paso:** 146 mm
- ✧ Tensión de perforación en aceite: 130 kV
- ✧ Carga de rotura electromagnética: 120 kN
- ✧ Dimensiones:
  - a) Vástago: 16 mm
  - b) Plato: 258 mm
- ✧ Ensayos según publicación IEC-383

El nivel de contaminación de la zona es ligero, por lo que la línea de fuga específica nominal mínima será de 16 mm/kV

#### 5.3.1. Cálculo del número de aisladores

- ✧ Tensión más elevada: 245 kV

$$n = \frac{N \cdot U_s}{L_f} + 1 = \frac{16 \cdot 245}{295} + 1 = 14,28 \cong 15$$

### 5.3.2. Comprobación del cumplimiento de las tensiones de aislamiento

- ✧ Tensión de aislamiento 50Hz: 460 kV
- ✧ Tensión de aislamiento tipo rayo: 1050 kV
- ✧ Tensión soportada a frecuencia industrial bajo lluvia: 495 kV
- ✧ Tensión soportada a impulso tipo rayo 1,2/50: 1165 kV

Como se puede ver tanto la tensión soportada a frecuencia industrial como a tipo rayo son mayores que las tensiones de aislamiento, por lo que cumplen.

### 5.3.3. Comprobación del cumplimiento de las distancias

- ✧ Distancia eléctrica: 1,7 m

$$D_{\text{minima}} = 1,1 \cdot 1,7 \cdot 10^3 = 1870 \text{ mm}$$

$$D_{\text{aisladores}} = 146 \cdot 15 = 2190 \text{ mm}$$

La distancia de los aisladores es mayor que la distancia mínima por lo que esta cadena cumpliría todos los requisitos.

## 5.4. Aisladores Nivel 132 kV

Para este nivel de tensión se ha decidido colocar una cadena de aisladores tipo E 120 cuyas características son:

- ✧ Clase: U120B
- ✧ **Material:** Vidrio templado
- ✧ Peso neto aproximado: 3,8 kg
- ✧ Línea de fuga: 295 mm
- ✧ **Paso:** 146 mm
- ✧ Tensión de perforación en aceite: 130 kV
- ✧ Carga de rotura electromagnética: 120 kN
- ✧ Dimensiones:
  - a) Vástago: 16 mm
  - b) Plato: 258 mm
- ✧ Ensayos según publicación IEC-383

El nivel de contaminación de la zona es ligero, por lo que la línea de fuga específica nominal mínima será de 16 mm/kV

### 5.4.1. Cálculo del número de aisladores

- ✧ Tensión más elevada: 145 kV

$$n = \frac{N \cdot U_s}{L_f} + 1 = \frac{16 \cdot 145}{295} + 1 = 8,86 \cong 9$$

Con 9 aisladores no nos cubrirá el requisito de distancia mínima, por lo que pondremos 10.

### 5.4.2. Comprobación del cumplimiento de las tensiones de aislamiento

- ✧ Tensión de aislamiento 50Hz: 275 kV
- ✧ Tensión de aislamiento tipo rayo: 650 kV
- ✧ Tensión soportada a frecuencia industrial bajo lluvia: 310 kV
- ✧ Tensión soportada a impulso tipo rayo 1,2/50: 690 kV

Como se puede ver tanto la tensión soportada a frecuencia industrial como a tipo rayo son mayores que las tensiones de aislamiento, por lo que cumplen.

### 5.4.3. Comprobación del cumplimiento de las distancias

- ✧ Distancia eléctrica: 1,2 m

$$D_{\text{minima}} = 1,1 \cdot 1,2 \cdot 10^3 = 1320 \text{ mm}$$

$$D_{\text{aisladores}} = 146 \cdot 10 = 1460 \text{ mm}$$

La distancia de los aisladores es mayor que la distancia mínima por lo que esta cadena cumpliría todos los requisitos.

## 5.5. Aisladores Nivel 45 kV

Para este nivel de tensión se ha decidido colocar una cadena de aisladores tipo E 70 cuyas características son:

- ✧ Clase: U70BL
- ✧ **Material:** Vidrio templado
- ✧ Peso neto aproximado: 3,4 kg
- ✧ Línea de fuga: 295 mm
- ✧ **Paso:** 146 mm
- ✧ Tensión de perforación en aceite: 130 kV
- ✧ Carga de rotura electromagnética: 70 kN
- ✧ Dimensiones:
  - a) Vástago: 16 mm
  - b) Plato: 258 mm
- ✧ Ensayos según publicación IEC-383

El nivel de contaminación de la zona es ligero, por lo que la línea de fuga específica nominal mínima será de 16 mm/kV

### 5.5.1. Cálculo del número de aisladores

- ✧ Tensión más elevada: 52 kV

$$n = \frac{N \cdot U_s}{L_f} + 1 = \frac{16 \cdot 52}{295} + 1 = 3,82 \cong 4$$

Con 4 aisladores no nos cubrirá el requisito de distancia mínima, por lo que pondremos 5.

### 5.5.2. Comprobación del cumplimiento de las tensiones de aislamiento

- ✧ Tensión de aislamiento 50Hz: 95 kV
- ✧ Tensión de aislamiento tipo rayo: 250 kV
- ✧ Tensión soportada a frecuencia industrial bajo lluvia: 175 kV
- ✧ Tensión soportada a impulso tipo rayo 1,2/50: 410 kV

Como se puede ver tanto la tensión soportada a frecuencia industrial como a tipo rayo son mayores que las tensiones de aislamiento, por lo que cumplen.

### 5.5.3. Comprobación del cumplimiento de las distancias

- ✧ Distancia eléctrica: 0,6 m

$$D_{\text{mínima}} = 1,1 \cdot 0,6 \cdot 10^3 = 660 \text{ mm}$$

$$D_{\text{aisladores}} = 146 \cdot 5 = 730 \text{ mm}$$

La distancia de los aisladores es mayor que la distancia mínima por lo que esta cadena cumpliría todos los requisitos.

## 6. Conductores

### 6.1. Generalidades

En este apartado se dan los requisitos que deben cumplir los conductores y cables de tierra con o sin circuitos de telecomunicaciones.

Los conductores y cables de tierra deberán ser diseñados, seleccionados y ensayados para cumplir con los requisitos eléctricos, mecánicos y de telecomunicaciones que se definen según los parámetros de diseño de la línea. Se deberá considerar la necesaria protección contra la fatiga debida a las vibraciones.

La sección nominal mínima admisible de los conductores de cobre y sus aleaciones será de 10 milímetros cuadrados. En el caso de los conductores de acero galvanizado, la sección mínima admisible será de 12,5 milímetros cuadrados.

Para otros tipos de materiales no se emplearán conductores de menos de 350 daN de carga de rotura.

En el caso en que se utilicen conductores usados, procedentes de otras líneas desmontadas, las características que afectan básicamente a la seguridad deberán establecerse razonadamente, de acuerdo con los ensayos que preceptivamente habrán de realizarse.

Cuando en los cálculos mecánicos se tengan en cuenta el proceso de fluencia o de deformaciones lentas, las características que se adopten para estos cálculos deberán justificarse mediante ensayos o utilizando valores comprobados en otras líneas.

### 6.2. Conductores de aluminio

#### 6.2.1. Características y dimensiones

Los conductores pueden estar constituidos por hilos redondos o con forma trapezoidal de aluminio o aleación de aluminio y pueden contener, para reforzarlos, hilos de acero galvanizados o de acero recubiertos de aluminio. Los cables de tierra se diseñarán según las mismas normas que los conductores de fase.

Los conductores deben cumplir la Norma UNE-EN 50182 y serán de uno de los siguientes tipos:

- ❖ Conductores homogéneos de aluminio (AL1).
- ❖ Conductores homogéneos de aleación de aluminio (ALx).
- ❖ Conductores compuestos (bimetálicos) de aluminio o aleación de aluminio reforzados con acero galvanizado (AL 1/STyz o ALx/STyz).
- ❖ Conductores compuestos (bimetálicos) de aluminio o aleación de aluminio reforzado con acero recubierto de aluminio (AL1/SAyz o ALx/SAyz).
- ❖ Conductores compuestos (bimetálicos) de aluminio reforzados con aleación de aluminio (AL1/ALx).

Cuando sean utilizados materiales diferentes de aquéllos, sus características y su conveniencia para cada aplicación individual deben ser verificadas como se indique en las especificaciones del proyecto.

### 6.2.2. Requisitos eléctricos

Las resistencias eléctricas de la gama preferente de conductores con alambres circulares se dan en la norma UNE-EN 50182.

Para conductores con secciones de alambres diferentes, la resistencia del conductor deberá calcularse utilizando la resistividad del alambre, la sección transversal y los parámetros del cableado del conductor.

Debe verificarse que la intensidad admisible y la capacidad de cortocircuito de los conductores cumplen los requisitos de las especificaciones del proyecto. También debe considerarse la predicción del nivel de perturbación radioeléctrica y el nivel del ruido audible de los conductores según la norma UNE-EN 50341-1.

### 6.2.3. Temperaturas de servicio del conductor

La máxima temperatura de servicio de conductores de aluminio bajo diferentes condiciones operativas deberá ser indicada en las especificaciones del proyecto. Estas Especificaciones darán algunos o todos los requisitos, bajo las siguientes condiciones:

- ✧ La temperatura máxima de servicio bajo carga normal en la línea, que no sobrepasará los 85 °C.
- ✧ La temperatura máxima de corta duración para momentos especificados, bajo diferentes cargas en la línea, superiores al nivel normal, que no sobrepasará los 100 °C.
- ✧ La temperatura máxima debida a un fallo especificado del sistema eléctrico, que no sobrepasará los 100 °C.

El uso de conductores de alta temperatura, tales como los compuestos por aleaciones especiales de Aluminio-Zirconio, definidos en la norma IEC 62004, permite trabajar con temperaturas de servicio superiores.

La información sobre el cálculo del incremento de temperatura, debido a las corrientes de cortocircuito, se indica en la norma UNE-EN 60865-1. Alternativamente, y con las precauciones adecuadas, el incremento real de temperatura debido a las corrientes de cortocircuito puede determinarse mediante un ensayo.

### 6.2.4. Requisitos mecánicos

La carga de rotura de los conductores de aluminio, calculada de acuerdo con la norma UNE-EN 50182, debe ser suficiente para cumplir con los requisitos de carga determinados en el apartado 3.2. La tensión máxima admisible en el conductor debe indicarse en las especificaciones del proyecto.

### 6.2.5. Protección contra la corrosión

Los requisitos para el recubrimiento o el revestimiento de los hilos de acero con zinc o aluminio deben ser indicados en las especificaciones del proyecto, con referencia a la norma UNE-EN 50189 o la norma UNE-EN 61232, según sea aplicable, por la naturaleza del revestimiento. Se permite el uso de grasas de protección contra la corrosión.

### 6.3. Método de calculo

La densidad corriente ( $\lambda$ ) que pasara por conductor de aluminio acero se calcula dividiendo la intensidad permanente (I), calculada en el apartado 2. Calculo de intensidades, por la superficie del conductor (S). Como en las tablas la densidad de corriente máxima viene dada para cables de aluminio y los que se utilizaran serán de aluminio-acero habrá que multiplicar ese valor por un coeficiente de reducción ( $\delta$ ) que dependerá de la composición del cable elegido, siendo los siguientes los coeficientes de reducción:

- ✧ 0,916 para 30+7
- ✧ 0,937 para 6+1 y 26+7
- ✧ 0,950 para 54+7
- ✧ 0,970 para 45+70

La fórmula quedara así:

$$\lambda = \frac{I}{S} \cdot \delta$$

De la tabla 11 de la ITC-LAT 07, de densidad de corriente máxima de los conductores en régimen permanente habrá que interpolar el valor de la densidad para la sección de nuestro cable.

Sección nominal mm <sup>2</sup>	Densidad de corriente A/mm <sup>2</sup>		
	Cobre	Aluminio	Aleación de aluminio
10	8,75		
15	7,60	6,00	5,60
25	6,35	5,00	4,65
35	5,75	4,55	4,25
50	5,10	4,00	3,70
70	4,50	3,55	3,30
95	4,05	3,20	3,00
125	3,70	2,90	2,70
160	3,40	2,70	2,50
200	3,20	2,50	2,30
250	2,90	2,30	2,15
300	2,75	2,15	2,00
400	2,50	1,95	1,80
500	2,30	1,80	1,70
600	2,10	1,65	1,55

## 6.4. Conductores Nivel 220 kV

Para este nivel de tensión, al igual que para todos los de la subestación, se colocaran cables aluminio-acero tipo CONDOR como conductores, cuyas características son:

- ✧ Sección: 455,1 mm<sup>2</sup>
- ✧ Diámetro: 27,8 mm
- ✧ Nº hilos: 54 aluminio + 7 acero
- ✧ Diámetro de los hilos: 3,08 mm
- ✧ Resistencia eléctrica a 20 °C: 0,072 Ω/km
- ✧ Peso: 1522 kg/km
- ✧ Modulo elástico final: 7000 kg/mm<sup>2</sup>
- ✧ Coeficiente de dilatación: 19,3·10<sup>-6</sup> °C
- ✧ Carga mínima de rotura: 12950 kg

Para este conductor la densidad máxima de corriente y la intensidad máxima del cable serán:

$$\lambda_{max} = 1,95 + \frac{455,1 - 400}{500 - 400} \cdot (1,8 - 1,95) = 1,867 A/mm^2$$

$$I_{max} = \lambda_{max} \cdot S = 1,867 \cdot 455,1 = 849,83$$

Para el embarrado se usaran tubos de aluminio 6063-T6 de las siguientes características, cuya justificación se realiza en el apartado de cálculo mecánico:

- ✧ Diámetro exterior: 110 mm
- ✧ Diámetro interior: 100 mm
- ✧ Sección: 1650 mm<sup>2</sup>
- ✧ Peso: 4,453 kg/m
- ✧ Intensidad admisible a 80°C: 2480 A
- ✧ Vano admisible: 12,30 m
- ✧ Momento inercia: 227,81 cm<sup>4</sup>
- ✧ Momento resistente: 41,42 cm<sup>3</sup>

#### **6.4.1. Línea de entrada - L<sub>1</sub>**

Con el valor de corriente calculado en el apartado 2.2.1, el cual es 236,19 y el valor del cable obtenido en el apartado anterior se puede observar que se cumple sobradamente con reglamento.

#### **6.4.2. Línea de entrada - L<sub>2</sub>**

Al igual que la línea L<sub>1</sub>, el valor de corriente calculado en el apartado 2.2.2, es 236,19 A y es muy inferior a la capacidad de transporte del cable utilizado, por lo que cumple reglamento.

#### **6.4.3. Embarrado 220 kV - Emb<sub>1</sub>**

Para el embarrado se usan tubos de aluminio diseñados para transportar hasta 3135 A, valor de corriente muy superior al que se pretende transportar, siendo este de 236,19 A, por lo que se acomoda al reglamento.

#### **6.4.4. Línea del primario del transformador 1 - L<sub>pT1</sub>**

En esta línea también se ha calculado en el apartado 2.2.4 que circulara una corriente de 236,19 A admitiendo el cable 849,83A cumpliendo con reglamento.

## 6.5. Conductores Nivel 132 kV

Para este nivel de tensión, al igual que para todos los de la subestación, se colocaran cables aluminio-acero tipo CONDOR como conductores, cuyas características son:

- ✧ Sección: 455,1 mm<sup>2</sup>
- ✧ Diámetro: 27,8 mm
- ✧ Nº hilos: 54 aluminio + 7 acero
- ✧ Diámetro de los hilos: 3,08 mm
- ✧ Resistencia eléctrica a 20 °C: 0,072 Ω/km
- ✧ Peso: 1522 kg/km
- ✧ Modulo elástico final: 7000 kg/mm<sup>2</sup>
- ✧ Coeficiente de dilatación: 19,3·10<sup>-6</sup> °C
- ✧ Carga mínima de rotura: 12950 kg

Para este conductor la densidad máxima de corriente y la intensidad máxima del cable serán:

$$\lambda_{max} = 1,95 + \frac{455,1 - 400}{500 - 400} \cdot (1,8 - 1,95) = 1,867 A/mm^2$$

$$I_{max} = \lambda_{max} \cdot S = 1,867 \cdot 455,1 = 849,83$$

Para el embarrado se usaran tubos de aluminio 6063-T6 de las siguientes características, cuya justificación se realiza en el apartado de cálculo mecánico:

- ✧ Diámetro exterior: 150 mm
- ✧ Diámetro interior: 134 mm
- ✧ Sección: 2312 mm<sup>2</sup>
- ✧ Peso: 6,200 kg/m
- ✧ Intensidad admisible a 80°C: 3890 A
- ✧ Vano admisible: 16,19 m
- ✧ Momento inercia: 902,38 cm<sup>4</sup>
- ✧ Momento resistente: 120,32 cm<sup>3</sup>

#### **6.5.1. Línea del secundario del transformador 1 - $L_{sT1}$**

Con el valor de corriente calculado en el apartado 2.3.1, el cual es 393,65 y los datos del cable se observa que acata sobradamente el reglamento.

#### **6.5.2. Embarrado doble 132 kV - $Emb_1$**

Para el embarrado se usan tubos de aluminio diseñados para transportar hasta 2850 A, valor de corriente muy superior al que se pretende transportar, siendo este de 393,65 A, por lo que se acomoda al reglamento.

#### **6.5.3. Línea de salida - $L_3$**

Esta línea se compone de un cable que puede transportar 849,83 A, siendo un valor superior a los 393,65 A que se han calculado en el apartado 2.3.3, cumpliendo el reglamento.

#### **6.5.4. Línea de salida - $L_4$**

Esta línea al ser idéntica a la  $L_3$  cumple también el reglamento.

#### **6.5.5. Línea del primario del transformador 2 - $L_{pT2}$**

El valor de corriente de esta línea, siendo inferior al del resto de líneas de este valor de tensión, habiéndose calculado 87,48 A a transportar, y con el mismo cable acata el reglamento.

#### **6.5.6. Línea del primario del transformador 3 - $L_{pT3}$**

Esta línea se ha calculado que transportara 131,22 A, un valor muy inferior a los 849,83 A permitidos por el cable colocado, acatando el reglamento.

## 6.6. Conductores Nivel 45 kV

Para este nivel de tensión, al igual que para todos los de la subestación, se colocara un cable a aluminio-acero tipo CONDOR, en este caso tanto para conductores como embarrados, siendo los embarrados dúplex, cuyas características son:

- ✧ Sección: 455,1 mm<sup>2</sup>
- ✧ Diámetro: 27,8 mm
- ✧ N<sup>o</sup> hilos: 54 aluminio + 7 acero
- ✧ Diámetro de los hilos: 3,08 mm
- ✧ Resistencia eléctrica a 20 °C: 0,072 Ω/km
- ✧ Peso: 1522 kg/km
- ✧ Modulo elástico final: 7000 kg/mm<sup>2</sup>
- ✧ Coeficiente de dilatación: 19,3·10<sup>-6</sup> °C
- ✧ Carga mínima de rotura: 12950 kg

Para este conductor la densidad máxima de corriente y la intensidad máxima del cable serán:

$$\lambda_{max} = 1,95 + \frac{455,1 - 400}{500 - 400} \cdot (1,8 - 1,95) = 1,867 A/mm^2$$

$$I_{max} = \lambda_{max} \cdot S = 1,867 \cdot 455,1 = 849,83$$

### 6.6.1. Línea del secundario del transformador 2 L<sub>ST2</sub>

Esta línea transportara una intensidad de 256,6 A, soportando el cable 849,83 A y cumpliendo con ello el reglamento.

### 6.6.2. Línea del secundario del transformador 3 L<sub>ST3</sub>

Con el valor de corriente calculado en el apartado 2.4.2, el cual es 384,90 A comprobamos que no incumple reglamento siendo la capacidad del cable mucho mayor

### **6.6.3. Embarrado doble 45 kV Emb<sub>1</sub>**

A pesar de que con un cable simple el embarrado cumpliría con reglamento ya que el cable puede transportar los 641,5 A calculados para el embarrado de 45 kV, se colocaran cables dúplex doblando su capacidad ante posibles cambios que impliquen un aumento de potencia o un cambio en la distribución de las líneas para las que en principio se ha diseñado, como la entrada de corriente por una de las líneas de 45 kV. Esto conlleva un cumplimiento del reglamento de manera más notable.

### **6.6.4. Línea de salida L<sub>5</sub>**

En esta línea cuya potencia de diseño se ha estimado, se ha calculado que puede llegar a transportar 384,90 A, valor mucho menor al que le permitiría el conductor utilizado y no oponiéndose al reglamento.

### **6.6.5. Línea de salida L<sub>6</sub>**

Al igual que la línea anterior, la potencia de diseño ha sido estimada con el mismo valor y diseñada con un conductor capaz de transportar 849,83 A, acatando reglamento.

### **6.6.6. Línea de salida L<sub>7</sub>**

Esta línea es idéntica a las dos anteriores, por lo que cumple el reglamento con la misma holgura que estas.

## 7. Cálculo mecánico

La filosofía de diseño que refleja este apartado para las líneas de alta tensión en general, está basada en el método empírico indicado en las normas UNE-EN 50341-1 y UNE-EN 50423-1. De acuerdo con ello, se utilizarán para las aplicaciones de las posibles solicitudes de cargas, fórmulas empíricas avaladas por la práctica que responderán a la duración, fiabilidad y garantía establecida en esta instrucción, equiparables con lo recomendado en la norma aludida.

### 7.1. Cargas y sobrecargas a considerar

El cálculo mecánico de los elementos constituyentes de la línea, cualquiera que sea la naturaleza de éstos, se efectuará bajo la acción de las cargas y sobrecargas que a continuación se indican, combinadas en la forma y en las condiciones que se fijan en los apartados siguientes.

En el caso de que puedan preverse acciones de todo tipo más desfavorables que las que a continuación se prescriben, deberá el proyectista adoptar de modo justificativo valores distintos a los establecidos.

Estos cálculos se efectuarán en función de los elementos que se pretenden instalar en la instalación.

#### 7.1.1. Cargas permanentes

Se considerarán las cargas verticales debidas al peso propio de los distintos elementos: conductores, aisladores, herrajes, cables de tierra -si los hubiere-, apoyos y cimentaciones.

#### 7.1.2. Fuerzas del viento sobre los componentes de las líneas aéreas

Se considerará un viento mínimo de referencia de 120 km/h (33,3 m/s) de velocidad, excepto en las líneas de categoría especial, donde se considerará un viento mínimo de 140 km/h (38,89 m/s) de velocidad. Se supondrá el viento horizontal, actuando perpendicularmente a las superficies sobre las que incide.

La acción del viento, en función de su velocidad  $V_v$  en km/h, da lugar a las fuerzas que a continuación se indican sobre los distintos elementos de la línea.

##### 7.1.2.1. Fuerzas del viento sobre los conductores

La presión del viento en los conductores causa fuerzas transversales a la dirección de la línea, al igual que aumenta las tensiones sobre los conductores.

Considerando los vanos adyacentes, la fuerza del viento sobre un apoyo de alineación será, para cada conductor del haz:

$$F_c = q \cdot d \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} \text{ daN}$$

Siendo:

- ✧  $d$  diámetro del conductor, en metros.
- ✧  $a_1, a_2$  longitudes de los vanos adyacentes, en metros. La semisuma de  $a_1$  y  $a_2$  es el vano de viento,  $a_v$ .
- ✧  $q$  presión del viento
  - $= 60 \times (V_v/120)^2 \text{ daN/m}^2$  para conductores de  $d \leq 16 \text{ mm}$
  - $= 56 \times (V_v/120)^2 \text{ daN/m}^2$  para conductores de  $d > 16 \text{ mm}$

En el caso de sobrecargas combinadas de hielo y de viento, se deberá considerar el diámetro incluido el espesor del manguito de hielo, para lo cual se aconseja considerar un peso volumétrico específico del hielo de valor  $750 \text{ daN/m}^3$ .

La fuerza total del viento sobre los conductores en haz estará definida como la suma de las fuerzas sobre cada uno de los conductores, sin tener en cuenta posibles efectos de pantalla entre conductores, ni aún en el caso de haces de conductores de fase.

En las fuerzas del viento sobre apoyos en ángulo, ha de tenerse en cuenta la influencia del cambio en la dirección de la línea, así como las longitudes de los vanos adyacentes.

### 7.1.2.2. Fuerzas del viento sobre las cadenas de aisladores

La fuerza del viento sobre cada cadena de aisladores será:

$$F_c = q \cdot A_i \text{ daN}$$

Siendo:

- ✧  $A_i$  área de la cadena de aisladores proyectada horizontalmente en un plano vertical paralelo al eje de la cadena de aisladores,  $\text{m}^2$ .
- ✧  $q$  presión del viento  $= 70 \times (V_v/120)^2 \text{ daN/m}^2$

### 7.1.2.3. Fuerza del viento sobre los apoyos de celosía

La fuerza del viento sobre los apoyos de celosía será:

$$F_c = q \cdot A_T \text{ daN}$$

Siendo:

- ✧  $A_T$  área del apoyo expuesta al viento proyectada en el plano normal a la dirección del viento, en  $m^2$
- ✧  $q$  presión del viento =  $170 \times (V_v/120)^2 \text{ daN/m}^2$
- ✧

### 7.1.2.4. Fuerzas del viento sobre las superficies planas

Las fuerzas del viento sobre las superficies planas serán:

$$F_c = q \cdot A_P \text{ daN}$$

Siendo:

- ✧  $A_P$  área proyectada en el plano normal a la dirección del viento, en  $m^2$ .
- ✧  $q$  presión del viento =  $100 \times (V_v/120)^2 \text{ daN/m}^2$
- ✧

### 7.1.2.5. Fuerzas del viento sobre las superficies cilíndricas

La fuerza del viento sobre las superficies cilíndricas será:

$$F_c = q \cdot A_{Pol} \text{ daN}$$

Siendo:

- ✧  $A_{Pol}$ , área proyectada en el plano normal a la dirección del viento, en  $m^2$ .
- ✧  $q$  presión del viento =  $70 \times (V_v/120)^2 \text{ daN/m}^2$

### 7.1.3. Sobrecargas motivadas por el hielo

A estos efectos, el país se clasifica en tres zonas:

- ✧ Zona A: La situada a menos de 500 metros de altitud sobre el nivel del mar.
- ✧ Zona B: La situada a una altitud entre 500 y 1.000 metros sobre el nivel del mar.
- ✧ Zona C: La situada a una altitud superior a 1.000 sobre el nivel del mar.

Las sobrecargas serán las siguientes:

- ✧ Zona A: No se tendrá en cuenta sobrecarga alguna motivada por el hielo.
- ✧ Zona B: Se considerarán sometidos los conductores y cables de tierra a la sobrecarga de un manguito de hielo de valor:  $0,18 \times \sqrt{d}$  daN por metro lineal, siendo d el diámetro del conductor o cable de tierra en milímetros.
- ✧ Zona C: Se considerarán sometidos los conductores y cables de tierra a la sobrecarga de un manguito de hielo de valor:  $0,36 \times \sqrt{d}$  daN por metro lineal, siendo d el diámetro del conductor o cable de tierra en milímetros. Para altitudes superiores a 1500 metros, el proyectista deberá establecer las sobrecargas de hielo mediante estudios pertinentes, no pudiéndose considerar sobrecarga de hielo inferior a la indicada anteriormente.

Los valores de las sobrecargas a considerar para cada zona podrán ser aumentados, si las especificaciones particulares de las empresas distribuidoras o de transporte responsables del servicio así lo estableciesen.

## 7.2. Conductores

### 7.2.1. Tracción máxima admisible

La tracción máxima de los conductores y cables de tierra no resultará superior a su carga de rotura, mínima dividida por 2,5, si se trata de conductores cableados, o dividida por 3, si se trata de conductores de un alambre, considerándoles sometidos a la hipótesis de sobrecarga de la tabla 4 en función de que la zona sea A, B o C.

Nuestra instalación se encuentra en la zona B ya que se encuentra a 915 metros del nivel del mar, por ello las condiciones de las hipótesis que limitan la tracción máxima admisible son las siguientes:

ZONA B			
Hipótesis	Temperatura (°C)	Sobrecarga Viento	Sobrecarga hielo
Tracción máxima viento	-10	Según el apartado 3.1.2 Mínimo 120 ó 140 km/h según la tensión de línea	No se aplica
Tracción máxima de hielo	-15	No se aplica	Según el apartado 3.1.3
Tracción máxima hielo + viento (1)	-15	Según el apartado 3.1.2 Mínimo 60 km/h	Según el apartado 3.1.3.

La hipótesis de tracción máxima hielo + viento se aplica a las líneas de categoría especial.

Flechas máximas de los conductores y cables de tierra

De acuerdo con la clasificación de las zonas de sobrecarga definidas en el apartado 3.1.3, se determinará la flecha máxima de los conductores y cables de tierra en las hipótesis siguientes:

En zonas A, B y C:

- ✧ Hipótesis de viento. Sometidos a la acción de su peso propio y a una sobrecarga de viento, según el apartado 3.1.2, para una velocidad de viento de 120 km/h a la temperatura de + 15 °C.
- ✧ Hipótesis de temperatura. Sometidos a la acción de su peso propio, a la temperatura máxima previsible, teniendo en cuenta las condiciones climatológicas y de servicio de la línea. Para las líneas de categoría especial, esta temperatura no será en ningún caso inferior a + 85 °C para los conductores de fase ni inferior a + 50 °C para los cables de tierra. Para el resto de líneas, tanto para los conductores de fase como para los cables de tierra, esta temperatura no será en ningún caso inferior a + 50 °C.
- ✧ Hipótesis de hielo. Sometidos a la acción de su peso propio y a la sobrecarga de hielo correspondiente a la zona, según el apartado 3.1.3, a la temperatura de 0 °C.

Dado que los embarrados de las tensiones de 220kV y 132kV están formados por tubos, los cuales no están sometidos a esfuerzos de tracción, se procederá al cálculo de los embarrados superiores de 220kV con un vano de 40 metros, los de 132kV con una longitud de 30 metros y los de 45kV, tanto los superiores como los inferiores con unos vanos de 60 metros y 25 metros respectivamente.

### 7.2.2. Vano de 40 metros

El nivel de tensión de este vano es de 220kV por lo que pertenece a categoría especial.

Para empezar planteamos la hipótesis de tracción máxima (P+V+H -15°C)

Calculamos con un coeficiente de seguridad de 3,5, superior al impuesto por reglamento, la tensión máxima a considerar:

$$T_1 = T_M = \frac{Q}{C_s} = \frac{12950}{3,5} = 3700 \text{ kg}$$

La sobrecarga en el conductor originada por el peso del conductor y el hielo añadido a la sobrecarga producida por el viento será:

- Peso propio  $p_1 = 1,522 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- Peso hielo  $p_{H1} = 0,18 \cdot \sqrt{d} = 0,18 \cdot \sqrt{27,8} = 0,949 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- Sobrecarga peso+hielo  $p_1 + p_{H1} = 2,471 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- Espesor manguito hielo  $e = -r + \sqrt{r^2 + \frac{480 \cdot \sqrt{2} \cdot r}{\pi}} \xrightarrow{r=13,9 \text{ mm}} e = 17,70 \text{ mm}$
- Sobrecarga viento  $p_{V1} = 50 \cdot \left(\frac{V_v}{120}\right)^2 \cdot (d + 2e) = 50 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 \cdot \left(\frac{27,8+2 \cdot 17,7}{1000}\right) = 0,790 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- Sobrecarga total  $w_1 = \sqrt{(p_1 + p_{H1})^2 + (p_{V1})^2} = 2,594 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

A continuación calculamos la sobrecarga en el estado 2, la hipótesis de P+V a -10°C

- Peso propio  $p_2 = 1,522 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- Sobrecarga viento  $p_{V2} = 50 \cdot \left(\frac{V_v}{120}\right)^2 \cdot (d) = 50 \cdot \left(\frac{140}{120}\right)^2 \cdot (27,8) = 1,892 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- Sobrecarga total  $w_2 = \sqrt{(p_2)^2 + (p_{V2})^2} = 2,428 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

Comparamos ambas hipótesis:

estado1	estado 2
P+H+V a -15°C	P+V a -10°C
p1= 1,522 kg/m	p2= 1,522 kg/m
ph1= 0,949 kg/m	
pv1= 0,790 kg/m	pv2= 1,892 kg/m
w1=2,594 kg/m	w2=2,428 kg/m
θ1= -15 °C	θ2= -10 °C
T1 = 3700 kg	T2=

Mediante la ecuación del cambio de estado y los datos del cable calculamos las constantes A, B y C:

$$T_2^2 (T_2 + A) = B \Rightarrow \begin{cases} A = \alpha ES(\theta_2 - \theta_1) - T_1 + \frac{a^2 w_1^2 ES}{24 T_1^2} = \alpha ES(\theta_2 - \theta_1) + C \\ B = \frac{a^2 w_2^2 ES}{24} \end{cases}$$

DENOMINACIÓN	DIÁMETRO TOTAL (mm) SECCIÓN (mm <sup>2</sup> )	Nº DE HILOS DIÁMETRO (mm)	RESIST. ELÉCTRICA A 20°C R (W/Km)	PESO P (Kg/Km)	MÓDULO ELÁSTICO FINAL E (Kg/mm <sup>2</sup> )	COEFICIENTE DE DILATACION x 10 <sup>-6</sup> °C	CARGA MÍNIMA DE ROTURA (Kg)
LA30	7,14 31,10	6+1 2,38	1,075	108	8.100	19,10	1.005
LA56	9,5 54,6	6+1 3,15	0,614	189			1.670
LA78	11,34 78,6	6+1 3,78	0,426	272			2.360
LA110	14,0 116,2	30+7 2,0	0,307	433	8.200	17,80	4.400
LA145	15,75 147,1	30+7 2,25	0,242	548			5.520
LA180	17,5 181,6	30+7 2,25	0,197	676			6.630
LA280 (HAWK)	21,8 281,1	26+7 3,4 2,7	0,122	975	7.700	18,90	8.620
LA380 (GULL)	25,4 381,5	54+7 2,8	0,087	1.276	7.000	19,30	11.135
LA455 (CONDOR)	27,8 455,1	54+7 3,08	0,072	1.522			12.950
LA545 (CARDINAL)	30,4 546,1	54+7 3,4	0,059	1.826			15.535
LA635 (FINCH)	32,8 635,5	54+19 3,6 2,2	0,052	2.121	6.800	19,40	18.235

Despejando estas fórmulas obtenemos que las constantes A, B y C tienen los valores -3901,72 kg, 1241014834 kg<sup>3</sup> y -3596,53 kg respectivamente, lo que nos da una tensión T<sub>2</sub> de 3980,06 kg, siendo la hipótesis de peso + viento la más desfavorable.

Se procede ahora a la comparación con la hipótesis de P+H a -15°C

- Peso propio  $p_2 = 1,522 \frac{kg}{m}$

- Sobrecarga viento  $p_{v2} = 50 \cdot \left(\frac{V_v}{120}\right)^2 \cdot (d) = 50 \cdot \left(\frac{140}{120}\right)^2 \cdot (27,8) = 1,892 \frac{kg}{m}$
- Sobrecarga total  $w_2 = \sqrt{(p_2)^2 + (p_{v2})^2} = 2,428 \frac{kg}{m}$

Comparamos ambas hipótesis:

estado1	estado 2
P+V a -10°C	P+H a -15°C
p1= 1,522 kg/m	p2= 1,522 kg/m
	ph2= 0,949 kg/m
pv1= 1,892 kg/m	
w1=2,428 kg/m	w2= 2,471 kg/m
θ1= -10 °C	θ2= -15 °C
T1=3980,06	T2=

Despejando estas fórmulas obtenemos que las constantes A, B y C tienen los valores -3596,52 kg, 1285360942 kg<sup>3</sup> y -3901,71 kg respectivamente, lo que nos da una tensión T<sub>2</sub> de 3690,88 kg, siendo la hipótesis de peso + viento la más desfavorable.

El cálculo de la flecha se realiza con la siguiente formula, siendo su valor:

$$f = \frac{T_M}{w_d} \cdot \left( \cosh \frac{w_d \cdot a}{2 \cdot T_M} - 1 \right) = \frac{3700}{2,428} \cdot \left( \cosh \frac{2,428 \cdot 40}{2 \cdot 3700} - 1 \right) = 0,13 \text{ m}$$

### 7.2.3. Vano de 30 metros

El nivel de tensión de este vano es de 132kV y pertenece al embarrado superior.

Para empezar planteamos la hipótesis de tracción máxima (P+V -10°C)

Calculamos con un coeficiente de seguridad de 3,5, superior al impuesto por reglamento, la tensión máxima a considerar:

$$T_1 = T_M = \frac{Q}{C_s} = \frac{12950}{3,5} = 3700 \text{ kg}$$

La sobrecarga en el conductor originada por el peso del conductor y el hielo añadido a la sobrecarga producida por el viento será:

- Peso propio  $p_1 = 1,522 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- Sobrecarga viento  $p_{V1} = 50 \cdot \left(\frac{V_v}{120}\right)^2 \cdot (d) = 50 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot (27,8) = 1,39 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- Sobrecarga total  $w_1 = \sqrt{(p_1)^2 + (p_{V1})^2} = 2,061 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

A continuación calculamos la sobrecarga en el estado 2, la hipótesis de P+V a -10°C

- Peso propio  $p_2 = 1,522 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- Peso hielo  $p_{H1} = 0,18 \cdot \sqrt{d} = 0,18 \cdot \sqrt{27,8} = 0,949 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- Sobrecarga total  $w_2 = \sqrt{(p_2)^2 + (p_{H2})^2} = 2,471 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

Comparamos ambas hipótesis:

estado1	estado 2
P+V a -10°C	P+H a -15°C
p1= 1,522 kg/m	p2= 1,522 kg/m
	ph2= 0,949 kg/m
pv1= 1,39 kg/m	
w1=2,061 kg/m	w2= 2,471 kg/m
θ1= -10 °C	θ2= -15 °C
T1=3700	T2=

Mediante la ecuación del cambio de estado y los datos del cable calculamos las constantes A, B y C:

$$T_2^2 (T_2 + A) = B \Rightarrow \begin{cases} A = \alpha ES (\theta_2 - \theta_1) - T_1 + \frac{a^2 w_1^2 ES}{24 T_1^2} = \alpha ES (\theta_2 - \theta_1) + C \\ B = \frac{a^2 w_2^2 ES}{24} \end{cases}$$

DENOMINACIÓN	DIÁMETRO TOTAL (mm) SECCIÓN (mm <sup>2</sup> )	Nº DE HILOS DIÁMETRO (mm)	RESIST. ELÉCTRICA A 20°C R (W/Km)	PESO P (Kg/Km)	MÓDULO ELÁSTICO FINAL E (Kg/mm <sup>2</sup> )	COEFICIENTE DE DILATACIÓN x 10 <sup>-6</sup> °C	CARGA MÍNIMA DE ROTURA (Kg)
LA30	7,14 31,10	6+1 2,38	1,075	108	8.100	19,10	1.005
LA56	9,5 54,6	6+1 3,15	0,614	189			1.670
LA78	11,34 78,6	6+1 3,78	0,426	272			2.360
LA110	14,0 116,2	30+7 2,0	0,307	433	8.200	17,80	4.400
LA145	15,75 147,1	30+7 2,25	0,242	548			5.520
LA180	17,5 181,6	30+7 2,25	0,197	676			6.630
LA280 (HAWK)	21,8 281,1	26+7 3,4 2,7	0,122	975	7.700	18,90	8.620
LA380 (GULL)	25,4 381,5	54+7 2,8	0,087	1.276	7.000	19,30	11.135
LA455 (CONDOR)	27,8 455,1	54+7 3,08	0,072	1.522			12.950
LA545 (CARDINAL)	30,4 546,1	54+7 3,4	0,059	1.826			15.535
LA635 (FINCH)	32,8 635,5	54+19 3,6 2,2	0,052	2.121	6.800	19,40	18.235

Despejando estas fórmulas obtenemos que la  $T_2$  de 3409,32 kg, siendo la hipótesis de peso + viento la más desfavorable.

El cálculo de la flecha se realiza con la siguiente formula, siendo su valor:

$$f = \frac{T_M}{w_d} \cdot \left( \cosh \frac{w_d \cdot a}{2 \cdot T_M} - 1 \right) = \frac{3700}{2,061} \cdot \left( \cosh \frac{2,061 \cdot 30}{2 \cdot 3700} - 1 \right) = 0,06 \text{ m}$$

#### 7.2.4. Vano de 60 metros

El nivel de tensión de este vano es de 45kV y pertenece al embarrado.

Para empezar planteamos la hipótesis de tracción máxima (P+V -10°C)

Calculamos con un coeficiente de seguridad de 3,5, superior al impuesto por reglamento, la tensión máxima a considerar:

$$T_1 = T_M = \frac{Q}{C_s} = \frac{12950}{3,5} = 3700 \text{ kg}$$

La sobrecarga en el conductor originada por el peso del conductor y el hielo añadido a la sobrecarga producida por el viento será:

- Peso propio  $p_1 = 1,522 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- Sobrecarga viento  $p_{V1} = 50 \cdot \left(\frac{V_v}{120}\right)^2 \cdot (d) = 50 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot (27,8) = 1,39 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- Sobrecarga total  $w_1 = \sqrt{(p_1)^2 + (p_{V1})^2} = 2,061 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

A continuación calculamos la sobrecarga en el estado 2, la hipótesis de P+V a -10°C

- Peso propio  $p_2 = 1,522 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- Peso hielo  $p_{H1} = 0,18 \cdot \sqrt{d} = 0,18 \cdot \sqrt{27,8} = 0,949 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- Sobrecarga total  $w_2 = \sqrt{(p_2)^2 + (p_{H2})^2} = 2,471 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

Comparamos ambas hipótesis:

estado1	estado 2
P+V a -10°C	P+H a -15°C
p1= 1,522 kg/m	p2= 1,522 kg/m
	ph2= 0,949 kg/m
pv1= 1,39 kg/m	
w1=2,061 kg/m	w2= 2,471 kg/m
θ1= -10 °C	θ2= -15 °C
T1=3700	T2=

Mediante la ecuación del cambio de estado y los datos del cable calculamos las constantes A, B y C:

$$T_2^2 (T_2 + A) = B \Rightarrow \begin{cases} A = \alpha ES (\theta_2 - \theta_1) - T_1 + \frac{a^2 w_1^2 ES}{24 T_1^2} = \alpha ES (\theta_2 - \theta_1) + C \\ B = \frac{a^2 w_2^2 ES}{24} \end{cases}$$

DENOMINACIÓN	DIÁMETRO TOTAL (mm) SECCIÓN (mm <sup>2</sup> )	Nº DE HILOS DIÁMETRO (mm)	RESIST. ELÉCTRICA A 20°C R (W/Km)	PESO P (Kg/Km)	MÓDULO ELÁSTICO FINAL E (Kg/mm <sup>2</sup> )	COEFICIENTE DE DILATACIÓN x 10 <sup>-6</sup> °C	CARGA MÍNIMA DE ROTURA (Kg)
LA30	7,14 31,10	6+1 2,38	1,075	108	8.100	19,10	1.005
LA56	9,5 54,6	6+1 3,15	0,614	189			1.670
LA78	11,34 78,6	6+1 3,78	0,426	272			2.360
LA110	14,0 116,2	30+7 2,0	0,307	433	8.200	17,80	4.400
LA145	15,75 147,1	30+7 2,25	0,242	548			5.520
LA180	17,5 181,6	30+7 2,25	0,197	676			6.630
LA280 (HAWK)	21,8 281,1	26+7 3,4 2,7	0,122	975	7.700	18,90	8.620
LA380 (GULL)	25,4 381,5	54+7 2,8	0,087	1.276	7.000	19,30	11.135
LA455 (CONDOR)	27,8 455,1	54+7 3,08	0,072	1.522			12.950
LA545 (CARDINAL)	30,4 546,1	54+7 3,4	0,059	1.826			15.535
LA635 (FINCH)	32,8 635,5	54+19 3,6 2,2	0,052	2.121	6.800	19,40	18.235

Despejando estas fórmulas obtenemos que la  $T_2$  de 3485,85 kg, siendo la hipótesis de peso + viento la más desfavorable.

El cálculo de la flecha se realiza con la siguiente formula, siendo su valor:

$$f = \frac{T_M}{w_d} \cdot \left( \cosh \frac{w_d \cdot a}{2 \cdot T_M} - 1 \right) = \frac{3700}{2,061} \cdot \left( \cosh \frac{2,061 \cdot 60}{2 \cdot 3700} - 1 \right) = 0,25 \text{ m}$$

### 7.2.5. Vano de 25 metros

El nivel de tensión de este vano es de 45kV y pertenece al embarrado superior.

Para empezar planteamos la hipótesis de tracción máxima (P+V -10°C)

Calculamos con un coeficiente de seguridad de 3,5, superior al impuesto por reglamento, la tensión máxima a considerar:

$$T_1 = T_M = \frac{Q}{C_s} = \frac{12950}{3,5} = 3700 \text{ kg}$$

La sobrecarga en el conductor originada por el peso del conductor y el hielo añadido a la sobrecarga producida por el viento será:

- Peso propio  $p_1 = 1,522 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- Sobrecarga viento  $p_{V1} = 50 \cdot \left(\frac{V_v}{120}\right)^2 \cdot (d) = 50 \cdot \left(\frac{120}{120}\right)^2 \cdot (27,8) = 1,39 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- Sobrecarga total  $w_1 = \sqrt{(p_1)^2 + (p_{V1})^2} = 2,061 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

A continuación calculamos la sobrecarga en el estado 2, la hipótesis de P+V a -10°C

- Peso propio  $p_2 = 1,522 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- Peso hielo  $p_{H1} = 0,18 \cdot \sqrt{d} = 0,18 \cdot \sqrt{27,8} = 0,949 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- Sobrecarga total  $w_2 = \sqrt{(p_2)^2 + (p_{H2})^2} = 2,471 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

Comparamos ambas hipótesis:

estado1	estado 2
P+V a -10°C	P+H a -15°C
p1= 1,522 kg/m	p2= 1,522 kg/m
	ph2= 0,949 kg/m
pv1= 1,39 kg/m	
w1=2,061 kg/m	w2= 2,471 kg/m
θ1= -10 °C	θ2= -15 °C
T1=3700	T2=

Mediante la ecuación del cambio de estado y los datos del cable calculamos las constantes A, B y C:

$$T_2^2 (T_2 + A) = B \Rightarrow \begin{cases} A = \alpha ES(\theta_2 - \theta_1) - T_1 + \frac{a^2 w_1^2 ES}{24 T_1^2} = \alpha ES(\theta_2 - \theta_1) + C \\ B = \frac{a^2 w_2^2 ES}{24} \end{cases}$$

DENOMINACIÓN	DIÁMETRO TOTAL (mm) SECCIÓN (mm <sup>2</sup> )	Nº DE HILOS DIÁMETRO (mm)	RESIST. ELÉCTRICA A 20°C R (W/Km)	PESO P (Kg/Km)	MÓDULO ELÁSTICO FINAL E (Kg/mm <sup>2</sup> )	COEFICIENTE DE DILATACIÓN x 10 <sup>-6</sup> °C	CARGA MÍNIMA DE ROTURA (Kg)
LA30	7,14 31,10	6+1 2,38	1,075	108	8.100	19,10	1.005
LA56	9,5 54,6	6+1 3,15	0,614	189			1.670
LA78	11,34 78,6	6+1 3,78	0,426	272			2.360
LA110	14,0 116,2	30+7 2,0	0,307	433	8.200	17,80	4.400
LA145	15,75 147,1	30+7 2,25	0,242	548			5.520
LA180	17,5 181,6	30+7 2,25	0,197	676			6.630
LA280 (HAWK)	21,8 281,1	26+7 3,4 2,7	0,122	975	7.700	18,90	8.620
LA380 (GULL)	25,4 381,5	54+7 2,8	0,087	1.276	7.000	19,30	11.135
LA455 (CONDOR)	27,8 455,1	54+7 3,08	0,072	1.522			12.950
LA545 (CARDINAL)	30,4 546,1	54+7 3,4	0,059	1.826			15.535
LA635 (FINCH)	32,8 635,5	54+19 3,6 2,2	0,052	2.121	6.800	19,40	18.235

Despejando estas fórmulas obtenemos que la  $T_2$  de 3412,41 kg, siendo la hipótesis de peso + viento la más desfavorable.

El cálculo de la flecha se realiza con la siguiente formula, siendo su valor:

$$f = \frac{T_M}{w_d} \cdot \left( \cosh \frac{w_d \cdot a}{2 \cdot T_M} - 1 \right) = \frac{3700}{2,061} \cdot \left( \cosh \frac{2,061 \cdot 25}{2 \cdot 3700} - 1 \right) = 0,04 \text{ m}$$

### 7.3. Embarrados

Para el cálculo de embarrados vamos a seguir la guía “IEEE Guide for Design of Substation Rigid-Bus Structures”. Se va a comprobar que el tubo instalado en los embarrados cumpla que la máxima frecuencia de vibración del viento sea al menos dos veces superior a la frecuencia natural de vibración del material para que no se produzca resonancia, además de esto, se calculara también el máximo vano admisible para el tubo, así como la flecha que produce el nuestro vano.

El tubo que se va a instalar es de aluminio 6063-T6, cuyo peso específico es de 2,7kg/dm<sup>3</sup>, el módulo de elasticidad de 6,95·10<sup>7</sup> kPa y el limite elástico 2,1·10<sup>5</sup> kPa.

La fórmula para el cálculo de la frecuencia natural de vibración es:

$$f_{nv} = \frac{\pi \cdot 1,51^2}{20 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m}}$$

Siendo:

- ✧  $f_{nv}$  frecuencia natural del conductor en Hz
- ✧  $L$  longitud del conductor en metros
- ✧  $E$  módulo de elasticidad en MPa
- ✧  $J$  momento de inercia en cm<sup>4</sup>
- ✧  $m$  masa por unidad en kg/m

Para el cálculo de la vibración inducida por el viento se utiliza la siguiente expresión:

$$f_{iv} = \frac{5,15 \cdot V}{d}$$

Siendo

- ✧  $f_{iv}$  frecuencia inducida por el viento en Hz
- ✧  $d$  diámetro del conductor en cm
- ✧  $V$  velocidad del viento en km/h

Para el cálculo de la flecha máxima hay que considerar los pesos del conductor, al cual hay que ponerle un cable antivibratorio, y el peso del hielo que pueden tener que poder soportar los embarrados, por lo que antes de proceder al cálculo de la flecha hay que calcular estos pesos.

Para el cálculo de la sobrecarga de hielo utilizaremos el espesor más desfavorable, el cual es de 1,27 centímetros según la guía y cuya fórmula es:

$$f_h = 1,92 \cdot (d + e)$$

Siendo:

- ✧  $f_h$  frecuencia inducida por el viento en Hz
- ✧  $d$  diámetro del conductor en cm
- ✧  $e$  espesor radial del conductor en cm

El peso del embarrado es el peso del cable antivibratorio que será de 1 kg/m sumado al peso del embarrado por unidad de longitud.

Hay dos formas de calcular el vano máximo, de las que nos quedaremos con el dato más restrictivo.

El cálculo de la máxima longitud de vano por máxima flecha vertical se calcula conforme a la expresión:

$$L_d = 1,78 \cdot \sqrt{\frac{384 \cdot E \cdot J \cdot Y_A}{F_G}}$$

Siendo:

- ✧  $L_d$  Longitud máxima de vano en metros
- ✧  $F_G$  peso total del embarrado en kg/m
- ✧  $E$  módulo de elasticidad en kPa
- ✧  $J$  momento de inercia en  $\text{cm}^4$
- ✧  $Y_A$  máxima flecha permitida en cm ( $L/200$ )

Para el cálculo de máxima longitud de vano por máximo esfuerzo se utiliza la siguiente expresión:

$$L_s = 3,16 \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot F_a \cdot S}{F_G}}$$

- ✧  $L_s$  Longitud máxima de vano en metros
- ✧  $F_G$  peso total del embarrado en kg/m
- ✧  $F_a$  límite elástico en kPa<sup>2</sup>
- ✧  $S$  modulo resistente en cm<sup>3</sup>
- ✧ La fórmula de la flecha máxima es:

$$\diamond y_{max} = \frac{\frac{L \cdot 100}{1,78} \cdot F_G}{185 \cdot E \cdot J}$$

- ✧ Siendo:
- ✧  $Y_{max}$  máxima flecha en cm
- ✧  $F_G$  peso total del embarrado en kg/m
- ✧  $E$  módulo de elasticidad en kPa
- ✧  $J$  momento de inercia en cm<sup>4</sup>
- ✧  $L$  longitud del vano en metros

### 7.3.1. Embarrado de 220kV

Se instalara en este embarrado un tubo de aluminio de 150/134mm cuyo área es de 35,9 cm<sup>2</sup>, su módulo resistente es de 41,42 cm<sup>3</sup> y su momento de inercia de 227,81 cm<sup>4</sup>.

Con los datos citados durante la explicación del proceso acerca de las propiedades del tubo y los mencionados ahora respecto a las dimensiones del tubo podemos proceder a realizar toda y cada una de las cuentas, considerando que el viento tendrá una velocidad de 25km/h.

$$f_{nv} = \frac{\pi \cdot 1,51^2}{20 \cdot 16^2} \cdot \sqrt{\frac{69500 \cdot 902,38}{9,64}} = 3,57 \text{ Hz}$$

$$f_{iv} = \frac{5,15 \cdot 25}{15} = 8,59 \text{ Hz}$$

Se puede observar que la frecuencia natural de vibración es inferior a la mitad de la producida por el viento, por lo que cumple lo indicado en la guía en cuanto a la vibración.

$$f_h = 1,92 \cdot (15 + 1,27) = 31,24 \text{ N/m}$$

$$L_d = 1,78 \cdot \sqrt{\frac{384 \cdot 69500000 \cdot 902,38 \cdot 8}{104,34 + 31,24}} = 1619,14 \text{ cm} = 16,19 \text{ m}$$

$$L_s = 3,16 \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot 210000 \cdot 120,32}{104,34 + 31,24}} = 4313,19 \text{ cm} = 43,14 \text{ m}$$

En el caso más restrictivo el vano máximo de 16,19 metros nos sirve para instalar el vano de 16 metros que necesitamos.

$$y_{max} = \frac{\frac{16 \cdot 100}{1,78} \cdot (104,34 + 31,24)}{185 \cdot 69500000 \cdot 902,38} = 7,63 \text{ cm}$$

La flecha máxima es inferior a la flecha máxima establecida, por lo es factible instalar los tubos previstos.

### 7.3.2. Embarrado de 132kV

Se instalara en este embarrado un tubo de aluminio de 150/134mm cuyo área es de 35,9 cm<sup>2</sup>, su módulo resistente es de 41,42 cm<sup>3</sup> y su momento de inercia de 227,81 cm<sup>4</sup>.

Con los datos citados durante la explicación del proceso acerca de las propiedades del tubo y los mencionados ahora respecto a las dimensiones del tubo podemos proceder a realizar toda y cada una de las cuentas, considerando que el viento tendrá una velocidad de 25km/h.

$$f_{nv} = \frac{\pi \cdot 1,51^2}{20 \cdot 16^2} \cdot \sqrt{\frac{69500 \cdot 227,81}{4,45}} = 4,69 \text{ Hz}$$

$$f_{iv} = \frac{5,15 \cdot 25}{11} = 11,70 \text{ Hz}$$

Se puede observar que la frecuencia natural de vibración es inferior a la mitad de la producida por el viento, por lo que cumple lo indicado en la guía en cuanto a la vibración.

$$f_h = 1,92 \cdot (11 + 1,27) = 23,56 \text{ N/m}$$

$$L_d = 1,78 \cdot \sqrt{\frac{384 \cdot 69500000 \cdot 227,81 \cdot 6}{53,50 + 23,56}} = 1230,11 \text{ cm} = 12,30 \text{ m}$$

$$L_s = 3,16 \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot 210000 \cdot 41,42}{53,50 + 23,56}} = 3357,43 \text{ cm} = 33,57 \text{ m}$$

En el caso más restrictivo el vano máximo de 12,30 metros nos sirve para instalar el vano de 12 metros que necesitamos.

$$y_{max} = \frac{\frac{L \cdot 100}{1,78} \cdot (53,50 + 23,56)}{185 \cdot 69500000 \cdot 227,81}$$

La flecha máxima es inferior a la flecha máxima establecida, por lo es factible instalar los tubos previstos.

## 8. Instalaciones eléctricas de exterior

En relación a la ITC-RAT 15 del reglamento de alta tensión que contiene los criterios para el diseño de las instalaciones eléctricas de exterior destacamos los siguientes aspectos:

### 8.1. Vallado

Todo el recinto de los parques destinados a instalaciones señaladas en el párrafo a) del apartado anterior deberá estar protegido por una valla, enrejado u obra de fábrica de una altura "k" de 2,20 metros como mínimo, medida desde el exterior, provista de señales de advertencia de peligro por alta tensión en cada una de sus orientaciones, con objeto de advertir sobre el peligro de acceso al recinto a las personas ajenas al servicio.

La construcción del vallado debe ser adecuada para disuadir de su escalada.

### 8.2. Clases de instalaciones

Las instalaciones dentro del recinto vallado de los parques pueden comprender equipos de intemperie, así como conjuntos prefabricados. Igualmente pueden existir edificios destinados a instalaciones de alta tensión de tipo interior.

Las instalaciones de exterior podrán incluir transformadores de potencia protegidos parcialmente por paredes o techo, siempre que estas protecciones no lleguen a constituir una envolvente.

### 8.3. Terreno

El terreno deberá ser explanado en uno o varios planos, debiendo protegerse para evitar la emanación del polvo, utilizando para ello los medios que se consideran convenientes: suelo de grava, césped, asfáltico, hormigón, u otros análogos.

Deberán tomarse precauciones para evitar encharcamientos de agua en la superficie del terreno, dando una pendiente al suelo o estableciendo un sistema de drenaje adecuado, cuando sea necesario.

Igualmente se deberán tomar disposiciones de drenaje en el caso de emplear canales y conductos de cables, tanto de potencia como de mando, señalización, control, comunicaciones u otros.

## 8.4. Pasillos y zonas de servicio

### 8.4.1. Pasillo de servicio

- ✧ Para la anchura de los pasillos de servicio es válido lo dicho en el apartado 6.1.1 de la ITC-RAT 14 (Instalaciones eléctricas de interior).
- ✧ Los elementos en tensión no protegidos que se encuentran sobre los pasillos, deberán estar a una altura mínima "H" sobre el suelo, medida en centímetros, igual a:
- ✧  $H = 250 + d$
- ✧ Siendo "d" la distancia expresada en centímetros de las tablas 1, 2 y 3 de la ITC-RAT-12, dadas en función de la tensión soportada nominal a impulsos tipo rayo adoptada por la instalación.
- ✧ De la tabla 3 de dicha ITC-RAT-12 se tomarán los valores indicados en la columna "Conductor-estructura".
- ✧ En la determinación de esta distancia, se tendrá en cuenta la flecha máxima, por acumulación de nieve o por otros factores que pudieran reducir la distancia de seguridad, tomando como referencia lo indicado el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas de alta tensión.
- ✧ En las zonas donde se prevea el paso de aparatos o máquinas deberá mantenerse una distancia mínima entre los elementos en tensión y el punto más alto de aquellos no inferior a

$$T = d + 10$$

- ✧ con un mínimo de 50 cm. Se señalizará la altura máxima permitida para el paso de los aparatos o máquinas.
- ✧ En cualquier caso, los pasillos de servicio estarán libres de todo obstáculo hasta una altura de 250 cm sobre el suelo.
- ✧ En las zonas accesibles, la parte más baja de cualquier elemento aislante, por ejemplo el borde superior de la base metálica de los aisladores estará situado a la altura mínima sobre el suelo de 230 cm (ver figuras 2, 3 y 4). En el caso en que dicha altura sea menor de 230 cm será necesario establecer sistemas de protección, tal como se indica en el apartado 4.2 (ver figuras 1 y 5).

En nuestra instalación las distancias de los pasillos de servicio en instalaciones de exterior, las cuales serían las mismas que para la instalación de interior, son:

- ✧ Tensión de 220kV  $H = 250 + d = 250 + 210 = 460 \text{ cm}$
- ✧ Tensión de 132kV  $H = 250 + d = 250 + 130 = 380 \text{ cm}$
- ✧ Tensión de 45kV  $H = 250 + d = 250 + 48 = 298 \text{ cm}$

**TABLA 2**

TENSIÓN MÁS ELEVADA PARA EL MATERIAL (Um) (kV eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A FRECUENCIA INDUSTRIAL (kV eficaces)	TENSIÓN SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO RAYO (kV de cresta)	Distancia mínima de aislamiento en aire fase a tierra y entre fases (mm)
52	95	250	480
72,5	140	325	630
123	185 230	450 550	900 1100
145	185 230 275	450 550 650	900 1100 1300
170	230 275 325	550 650 750	1100 1300 1500
245	325 360 395 460	750 850 950 1050	1500 1700 1900 2100

Las distancias entre los aparatos de paso y los elementos en tensión serán:

- ✧ Tensión de 220kV  $H = 10 + d = 10 + 210 = 220 \text{ cm}$
- ✧ Tensión de 132kV  $H = 10 + d = 10 + 130 = 140 \text{ cm}$
- ✧ Tensión de 45kV  $H = 10 + d = 10 + 48 = 58 \text{ cm}$

#### 8.4.2. Zonas de protección contra contactos accidentales en el interior del recinto de la instalación

- ✧ Los sistemas de protección que deban establecerse guardarán unas distancias mínimas medidas en horizontal a los elementos en tensión que se respetarán en toda zona comprendida entre el suelo y una altura de 200 cm que, según el sistema de protección elegido y expresadas en centímetros, serán:
  - a) De los elementos en tensión a paredes macizas de 180 cm de altura mínima:
  - b)  $B = d + 3$
  - c) De los elementos en tensión a enrejados de 180 cm de altura mínima:
  - d)  $C = d + 10$
  - e) De los elementos en tensión a cierres de cualquier tipo (paredes macizas, enrejados, barreras, etc.) con una altura que en ningún caso podrá ser inferior a 100 cm:
  - f)  $E = d + 30$  con un mínimo de 125 cm
  - g) Para barreras no rígidas y enrejados los valores de las distancias de seguridad en el aire deben incrementarse para tener en cuenta cualquier posible desplazamiento de la barrera o enrejado.
- ✧ La cuadrícula del enrejado, cuando la hubiere, será como máximo de 50 x 50 mm.
- ✧ Para la aplicación de estos valores se tendrá en cuenta lo indicado en el apartado 6.2.2 de la ITC-RAT 14.

En esta instalación, las distancias contra contactos accidentales desde el interior de la instalación, al igual que para los contactos accidentales en la instalación interior, serán:

- ✧ Tensión de 220kV  $E = d + 30 = 210 + 30 = 240 \text{ cm}$
- ✧ Tensión de 132kV  $E = d + 30 = 130 + 30 = 160 \text{ cm}$
- ✧ Tensión de 45kV  $E = d + 30 = 48 + 30 = 78 \text{ cm} \xrightarrow{>125} 125 \text{ cm}$

### 8.4.3. Zonas de protección contra contactos accidentales desde el exterior del recinto de la instalación

- ✧ Para evitar los contactos accidentales desde el exterior del cierre del recinto de la instalación con los elementos en tensión, deberán existir entre éstos y el cierre las distancias mínimas de seguridad, medidas en horizontal y en centímetros, que a continuación se indican:
  - a) De los elementos en tensión al cierre cuando éste es una pared maciza de altura  $k < 250 + d$  (cm).
  - b)  $F = d + 100$
  - c) De los elementos en tensión al cierre cuando éste es una pared maciza de altura  $k \geq 250 + d$  (cm).
  - d)  $B = d + 3$
  - e) De los elementos en tensión al cierre cuando éste es un enrejado de cualquier altura  $k \geq 220$  cm.
  - f)  $G = d + 150$
- ✧ La cuadrícula del enrejado será como máximo de 50 x 50 mm.

En esta instalación, las distancias mínimas contra contactos accidentales desde el exterior de la instalación son:

- ✧ Tensión de 220kV  $G = d + 150 = 210 + 150 = 360$  cm
- ✧ Tensión de 132kV  $G = d + 150 = 130 + 150 = 280$  cm
- ✧ Tensión de 45kV  $G = d + 150 = 48 + 150 = 198$  cm

## 9. Distancias mínimas de seguridad de los conductores

Según la ITC-LAT 07 del reglamento de líneas aéreas, los criterios a seguir para el diseño de la subestación en lo que concierne a los conductores desnudos son los siguientes.

### 9.1. Distancias en el apoyo

Las distancias mínimas de seguridad en el apoyo son distancias internas utilizadas únicamente para diseñar una línea con aceptable capacidad de resistir las sobretensiones.

#### 9.1.1. Distancia entre conductores

La distancia entre los conductores de fase del mismo circuito o circuitos distintos debe ser tal que no haya riesgo alguno de cortocircuito entre fases, teniendo presente los efectos de las oscilaciones de los conductores debidas al viento y al desprendimiento de la nieve acumulada sobre ellos.

Con este objeto, la separación mínima entre conductores de fase se determinará por la fórmula siguiente:

$$D = K \cdot \sqrt{F + L} + K'' \cdot D_{pp}$$

En la cual:

- $D$  = Separación entre conductores de fase del mismo circuito o circuitos distintos en metros.
- $K$  = Coeficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento, que se tomará de la tabla 16.
- $K'$  = Coeficiente que depende de la tensión nominal de la línea  $K'=0,85$  para líneas de categoría especial y  $K'=0,75$  para el resto de líneas.
- $F$  = Flecha máxima en metros, para las hipótesis según el apartado 3.2.3
- $L$  = Longitud en metros de la cadena de suspensión. En el caso de conductores fijados al apoyo por cadenas de amarre o aisladores rígidos  $L=0$ .
- $D_{pp}$  = Distancia mínima aérea especificada, para prevenir una descarga disruptiva entre conductores de fase durante sobretensiones de frente lento o rápido. Los valores de  $D_{pp}$  se indican en el apartado 5.2, en función de la tensión más elevada de la línea.

Las distancias mínimas entre conductores para estos niveles de tensión en función de las características de esta subestación y suponiendo la K más desfavorable son:

✧ Tensión de 220kV  $D = 0,7 \cdot \sqrt{0,13 + 2,19} + 0,75 \cdot 2 = 2,57 \text{ m}$

✧ Tensión de 132kV  $D = 0,7 \cdot \sqrt{0,06 + 1,46} + 0,75 \cdot 1,4 = 1,92 \text{ m}$

✧ Tensión de 45kV  $D = 0,7 \cdot \sqrt{0,25 + 0,73} + 0,75 \cdot 2 = 1,22 \text{ m}$

**Tabla 16. Coeficiente K en función del ángulo de oscilación**

Ángulo de oscilación	Valores de K	
	Líneas de tensión nominal superior a 30 kV	Líneas de tensión nominal igual o inferior a 30 kV
Superior a 65°	0,7	0,65
Comprendido entre 40° y 65°	0,65	0,6
Inferior a 40°	0,6	0,55

**Tabla 15. Distancias de aislamiento eléctrico para evitar descargas**

Tensión más elevada de la red $U_s$ (kV)	$D_{ei}$ (m)	$D_{pp}$ (m)
3,6	0,08	0,10
7,2	0,09	0,10
12	0,12	0,15
17,5	0,16	0,20
24	0,22	0,25
30	0,27	0,33
36	0,35	0,40
52	0,60	0,70
72,5	0,70	0,80
123	1,00	1,15
145	1,20	1,40
170	1,30	1,50
245	1,70	2,00
420	2,80	3,20

Los valores de F y L han sido calculados en apartados anteriores.

Una vez hechos estos cálculos y con el objetivo de dejar una distancia más segura, los cables se colocaran a las distancias de 4, 3 y 2,5 metros entre sí y con el apoyo para las tensiones de 220, 132 y 45 kV respectivamente.

### 9.1.2. Distancias entre conductores y a partes puestas a tierra

La separación mínima entre los conductores y sus accesorios en tensión y los apoyos no será inferior a la  $D_{el}$ , con un mínimo de 0,2 m

## 9.2. Distancias al terreno

La altura de los apoyos será la necesaria para que los conductores, con su máxima flecha vertical según las hipótesis de temperatura y de hielo según el apartado 3.2.3, queden situados por encima de cualquier punto del terreno, senda, vereda o superficies de agua no navegables, a una altura mínima de:

$$D = 5,3 + D_{el}$$

Con un mínimo de 6 metros. No obstante, en lugares de difícil acceso las anteriores distancias podrán ser reducidas en un metro.

Para estos niveles de tensión las distancias mínimas al terreno de los embarrados serán:

✧ Tensión de 220kV  $D = 5,3 + D_{el} = 5,3 + 1,7 = 7 \text{ m}$

✧ Tensión de 132kV  $D = 5,3 + D_{el} = 5,3 + 1,2 = 6,5 \text{ m}$

✧ Tensión de 45kV  $D = 5,3 + D_{el} = 5,3 + 0,6 = 5,9 \text{ m} \stackrel{>6}{\Rightarrow} 6 \text{ m}$

En la subestación planteada, las alturas de los embarrados serán de 7 metros para el menor nivel de tensión, 9 para el siguiente y 11 para el nivel de mayor tensión.

## 10. Tierras y tensiones de paso y contacto

En la ITC-RAT 13 encontramos la normativa para el cálculo de las instalaciones de puesta a tierra.

En esta ITC informa de que se debe disponer de una instalación de puesta a tierra que permita que las personas en ningún momento estén sometidas a una tensión de paso y contacto que puedan poner en riesgo su integridad física.

### 10.1. Puesta a tierra

Las dimensiones de la subestación son de 165x140 metros, por lo que la malla a instalar tendrá una dimensión de 168x144 metros formando una retícula cuadrada de 4x4 metros que sobresalga uno o dos metros por cada lado de la subestación.

La resistividad del terreno, al ser este de arena arcillosa, se estima que será de unos 300Ωm, un valor intermedio al rango que asigna reglamento para este tipo de terreno.

La resistencia tierra del electrodo depende de su forma, sus dimensiones y la resistividad del terreno. Para calcular la resistencia para la forma de malla se emplea la siguiente formula:

$$R = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

Siendo:

- ✧ R = resistencia de tierra del electrodo en Ω
- ✧ ρ = resistividad del terreno de Ωm.
- ✧ L = longitud en metros de la pica o del conductor, y en malla la longitud total de los conductores enterrados.
- ✧ r = radio en metros de un círculo de la misma superficie que el área cubierta por la malla.

Teniendo en cuenta que nuestra malla es cuadrada y la formula exige un radio operamos de la siguiente manera:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{168 \cdot 144}{\pi}} = 87,75 \text{ m}$$

El cálculo de la L es el siguiente:

$$L = \left(\frac{168}{4} + 1\right) \cdot 144 + \left(\frac{144}{4} + 1\right) \cdot 168 = 12408 \text{ m}$$

Por tanto, la resistencia de puesta a tierra será:

$$R = \frac{300}{4 \cdot 87,75} + \frac{3000}{12408} = 0,879 \Omega$$

Como la resistencia que nos da se considera buena damos por concluido el cálculo.

La sección mínima que debe tener el conductor de tierra se recoge en la norma Standard IEEE 80 de la "Guide for Safety in AC Substation Grounding" en el apartado 11.3.

La fórmula que nos indica la norma que hay que utilizar es:

$$A = \frac{I}{\sqrt{\left(\frac{TCAP \cdot 10^{-4}}{t_c \cdot \alpha_r \cdot \rho_r}\right) \cdot \ln\left(\frac{K_0 + T_m}{K_0 + T_a}\right)}}$$

Siendo:

- ✧ I Intensidad eficaz de cortocircuito en kA
- ✧ A Sección mínima del conductor en mm<sup>2</sup>
- ✧ T<sub>m</sub> Temperatura máxima permisible, en °C
- ✧ T<sub>a</sub> Temperatura ambiente, en °C
- ✧ T<sub>r</sub> Temperatura de referencia para las constantes del material, en °C
- ✧ α<sub>0</sub> Coeficiente térmico de resistividad a 0°C en 1/°C
- ✧ α<sub>r</sub> Coeficiente térmico de resistividad a T<sub>r</sub> en 1/°C
- ✧ ρ<sub>r</sub> Resistividad del conductor de tierra a T<sub>r</sub> en μΩcm
- ✧ K<sub>0</sub> K<sub>0</sub>=1/α<sub>0</sub>, en °C
- ✧ t<sub>c</sub> Tiempo de duración de la falta en s
- ✧ TCAP Factor de capacidad térmica por unidad de volumen

**Table 1 – Material constants**

Description	Material conductivity (%)	$\alpha_r$ factor at 20 °C (1/°C)	$K_o$ at 0 °C (0 °C)	Fusing <sup>a</sup> temperature $T_m$ (°C)	$\rho_r$ 20 °C ( $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ )	TCAP thermal capacity [ $\text{J}/(\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ]
Copper, annealed soft-drawn	100.0	0.003 93	234	1083	1.72	3.42

Dado que el valor de la intensidad máxima hacia la red es de 39,32 kA, calculada y el tiempo de duración de la falta será menor de 0,5 segundos, obtenemos una sección mínima normalizada de:

$$A = \frac{39,32}{\sqrt{\left(\frac{3,42 \cdot 10^{-4}}{0,5 \cdot 0,00393 \cdot 1,72}\right) \cdot \ln\left(\frac{234 + 1083}{234 + 20}\right)}} = 68,65 \text{ mm}^2$$

El cable de cobre se colocara será de 95 mm<sup>2</sup>

## 10.2. Tensiones de paso y contacto

Los valores máximos admisibles de tensión y contacto vienen estipulados en la tabla 1 de la ITC-RAT 13 del reglamento y son:

**Tabla 1. Valores admisibles de la tensión de contacto aplicada  $U_{ca}$  en función de la duración de la corriente de falta  $t_f$**

Duración de la corriente de falta, $t_f$ (s)	Tensión de contacto aplicada admisible, $U_{ca}$ (V)
0.05	735
0.10	633
0.20	528
0.30	420
0.40	310
0.50	204
1.00	107
2.00	90
5.00	81
10.00	80
> 10.00	50

Siendo para una duración de corriente de falta de 0,5 segundos 204 V el valor máximo de tensión de contacto considerando únicamente la impedancia humana, y 10 veces superior, es decir, 2040 V la tensión de paso.

Para el cálculo de las tensiones de paso y contacto del proyecto, según esta ITC, se emplean estas fórmulas:

$$U_c = U_{ca} \cdot \left( 1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1,5\rho_s}{1000} \right)$$

$$U_p = 10U_{ca} \cdot \left( 1 + \frac{2R_{a1} + 6\rho_s}{1000} \right)$$

Como añadiremos una capa de material de elevada resistividad aplicaremos este coeficiente:

$$C_s = 1 - 0,106 \cdot \left( \frac{1 - \frac{\rho_s}{\rho^*}}{2h_s + 0,106} \right)$$

Donde:

- ✧  $R_{a1}$  es la resistencia del calzado, la resistencia de superficies de material aislante, etc.  
Para la resistencia del calzado se puede utilizar  $R_{a1} = 2000 \Omega$ .
- ✧  $C_s$  coeficiente reductor de la resistividad de la capa superficial.
- ✧  $h_s$  espesor de la capa superficial, en metros.
- ✧  $\rho_s$  resistividad del terreno natural.
- ✧  $\rho^*$  resistividad de la capa superficial.

Añadiendo una capa de 0,2 metros de hormigón ( $3000 \Omega$ ) a la superficie del terreno, los valores que nos salen son:

- ✧  $C_s = 0,81$
- ✧  $U_c = 1076,00 V$
- ✧  $U_p = 38073,82 V$

Una vez realizada la subestación, habrá que comprobar que los valores reales no superan los valores calculados.

✧

## 11. Hilos de guarda

Los hilos de guarda tienen la función de proteger la instalación contra sobretensiones de origen atmosférico y para que sean efectivos tienen que estar a una determinada altura, la cual vamos a calcular mediante la fórmula:

$$H = \frac{4 \cdot h + \sqrt{16 \cdot h^2 - 12 \cdot (h^2 - a^2)}}{6}$$

Siendo:

- ◇ 2a anchura de la celda
- ◇ h altura de los conductores a proteger
- ◇ H altura mínima de los hilos de guarda

### 11.1. Nivel de 220kV

Los conductores del embarrado superior están situados a 16 metros, lo cual el valor de la h será 16 metros, por otro lado los cables están separados por 4 metros lo que hace una distancia entre apoyos de 16 metros, el cual será el valor de 2a.

$$H = \frac{4 \cdot 16 + \sqrt{16 \cdot 16^2 - 12 \cdot (16^2 - 8^2)}}{6} = 17,72 \text{ m}$$

El cable de guarda lo colocaremos a 20 m, estando así a suficiente distancia de los elementos en tensión.

### 11.2. Nivel de 132kV

Los conductores del embarrado superior están situados a 12 metros, lo cual el valor de la h será 12 metros, por otro lado los cables están separados por 3 metros lo que hace una distancia entre apoyos de 12 metros, el cual será el valor de 2a.

$$H = \frac{4 \cdot 12 + \sqrt{16 \cdot 12^2 - 12 \cdot (12^2 - 6^2)}}{6} = 13,29 \text{ m}$$

El cable de guarda lo colocaremos a 15 m, estando así a suficiente distancia de los elementos en tensión.



### 11.3. Nivel de 45kV

Los conductores del embarrado superior están situados a 11 metros, lo cual el valor de la  $h$  será 11 metros, por otro lado los cables están separados por 2,5 metros lo que hace una distancia entre apoyos de 10 metros, el cual será el valor de  $2a$ .

$$H = \frac{4 \cdot 11 + \sqrt{16 \cdot 11^2 - 12 \cdot (11^2 - 5^2)}}{6} = 12 \text{ m}$$

El cable de guarda lo colocaremos a 14 m, estando así a suficiente distancia de los elementos en tensión.



**ANEXO N°2**  
**ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**



## INDICE

1. Prevención de riesgos laborales.....	122
1.1. Introducción. ....	122
1.2. Derechos y obligaciones.....	122
1.3. Servicios de prevención.....	129
1.4. Consulta y participación de los trabajadores.....	129
2. Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. ....	131
2.1. Introducción. ....	131
2.2. Obligaciones del empresario. ....	131
3. Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. ....	137
3.1. Introducción. ....	137
3.2. Obligación general del empresario.....	137
4. Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.....	139
4.1. Introducción. ....	139
4.2. Obligación general del empresario.....	139
5. Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción. ....	146
5.1. Introducción. ....	146
5.2. Estudio básico de seguridad y salud.....	147
5.3. Disposiciones específicas de seguridad y salud durante la ejecución de las obras.....	160
6. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.....	161
6.1. Introducción. ....	161
6.2. Obligaciones generales del empresario. ....	161

# 1. Prevención de riesgos laborales.

## 1.1. Introducción.

La ley **31/1995**, de 8 de noviembre de 1995, de **Prevención de Riesgos Laborales** tiene por objeto la determinación del cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los *riesgos derivados de las condiciones de trabajo*.

Como ley establece un marco legal a partir del cual las **normas reglamentarias** irán fijando y concretando los aspectos más técnicos de las medidas preventivas.

Estas normas complementarias quedan resumidas a continuación:

- ✧ Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- ✧ Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- ✧ Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- ✧ Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- ✧ Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

## 1.2. Derechos y obligaciones.

### 1.2.1. A la protección frente a los riesgos laborales.

Los trabajadores tienen derecho a una protección eficaz en materia de seguridad y salud en el trabajo.

A este efecto, el empresario realizará la prevención de los riesgos laborales mediante la adopción de cuantas medidas sean necesarias para la protección de la seguridad y la salud de los trabajadores, con las especialidades que se recogen en los artículos siguientes en materia de evaluación de riesgos, información, consulta, participación y formación de los trabajadores, actuación en casos de emergencia y de riesgo grave e inminente y vigilancia de la salud.

### 1.2.2. Principios de la acción preventiva.

El empresario aplicará las medidas preventivas pertinentes, con arreglo a los siguientes principios generales:

- ✧ Evitar los riesgos.
- ✧ Evaluar los riesgos que no se pueden evitar.
- ✧ Combatir los riesgos en su origen.
- ✧ Adaptar el trabajo a la persona, en particular en lo que respecta a la concepción de los puestos de trabajo, la organización del trabajo, las condiciones de trabajo, las relaciones sociales y la influencia de los factores ambientales en el trabajo.
- ✧ Adoptar medidas que antepongan la protección colectiva a la individual.
- ✧ Dar las debidas instrucciones a los trabajadores.
- ✧ Adoptar las medidas necesarias a fin de garantizar que sólo los trabajadores que hayan recibido información suficiente y adecuada puedan acceder a las zonas de riesgo grave y específico.
- ✧ Prever las distracciones o imprudencias no temerarias que pudiera cometer el trabajador.

### 1.2.3. Evaluación de los riesgos.

La acción preventiva en la empresa se planificará por el empresario a partir de una evaluación inicial de los riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores, que se realizará, con carácter general, teniendo en cuenta la naturaleza de la actividad, y en relación con aquellos que estén expuestos a riesgos especiales. Igual evaluación deberá hacerse con ocasión de la elección de los equipos de trabajo, de las sustancias o preparados químicos y del acondicionamiento de los lugares de trabajo.

De alguna manera se podrían clasificar las causas de los riesgos en las categorías siguientes:

- ✧ Insuficiente calificación profesional del personal dirigente, jefes de equipo y obreros.
- ✧ Empleo de maquinaria y equipos en trabajos que no corresponden a la finalidad para la que fueron concebidos o a sus posibilidades.

- ✧ Negligencia en el manejo y conservación de las máquinas e instalaciones. Control deficiente en la explotación.
- ✧ Insuficiente instrucción del personal en materia de seguridad.

Referente a las máquinas herramienta, los riesgos que pueden surgir al manejarlas se pueden resumir en los siguientes puntos:

- ✧ Se puede producir un accidente o deterioro de una máquina si se pone en marcha sin conocer su modo de funcionamiento.
- ✧ La lubricación deficiente conduce a un desgaste prematuro por lo que los puntos de engrase manual deben ser engrasados regularmente.
- ✧ Puede haber ciertos riesgos si alguna palanca de la máquina no está en su posición correcta.
- ✧ El resultado de un trabajo puede ser poco exacto si las guías de las máquinas se desgastan, y por ello hay que protegerlas contra la introducción de virutas.
- ✧ Puede haber riesgos mecánicos que se deriven fundamentalmente de los diversos movimientos que realicen las distintas partes de una máquina y que pueden provocar que el operario:
  - Entre en contacto con alguna parte de la máquina o ser atrapado entre ella y cualquier estructura fija o material.
  - Sea golpeado o arrastrado por cualquier parte en movimiento de la máquina.
  - Ser golpeado por elementos de la máquina que resulten proyectados.
  - Ser golpeado por otros materiales proyectados por la máquina.
- ✧ Puede haber riesgos no mecánicos tales como los derivados de la utilización de energía eléctrica, productos químicos, generación de ruido, vibraciones, radiaciones, etc.

Los movimientos peligrosos de las máquinas se clasifican en cuatro grupos:

- ✧ Movimientos de rotación. Son aquellos movimientos sobre un eje con independencia de la inclinación del mismo y aun cuando giren lentamente. Se clasifican en los siguientes grupos:
  - Elementos considerados aisladamente tales como árboles de transmisión, vástagos, brocas, acoplamientos.
  - Puntos de atrapamiento entre engranajes y ejes girando y otras fijas o dotadas de desplazamiento lateral a ellas.

- ✧ Movimientos alternativos y de traslación. El punto peligroso se sitúa en el lugar donde la pieza dotada de este tipo de movimiento se aproxima a otra pieza fija o móvil y la sobrepasa.
- ✧ Movimientos de traslación y rotación. Las conexiones de bielas y vástagos con ruedas y volantes son algunos de los mecanismos que generalmente están dotadas de este tipo de movimientos.
- ✧ Movimientos de oscilación. Las piezas dotadas de movimientos de oscilación pendular generan puntos de “tijera” entre ellas y otras piezas fijas.

Las actividades de prevención deberán ser modificadas cuando se aprecie por el empresario, como consecuencia de los controles periódicos previstos en el apartado anterior, su inadecuación a los fines de protección requeridos.

#### **1.2.4. Equipos de trabajo y medios de protección.**

Cuando la utilización de un equipo de trabajo pueda presentar un riesgo específico para la seguridad y la salud de los trabajadores, el empresario adoptará las medidas necesarias con el fin de que:

- ✧ La utilización del equipo de trabajo quede reservada a los encargados de dicha utilización.
- ✧ Los trabajos de reparación, transformación, mantenimiento o conservación sean realizados por los trabajadores específicamente capacitados para ello.

El empresario deberá proporcionar a sus trabajadores equipos de protección individual adecuados para el desempeño de sus funciones y velar por el uso efectivo de los mismos.

#### **1.2.5. Información, consulta y participación de los trabajadores.**

El empresario adoptará las medidas adecuadas para que los trabajadores reciban todas las informaciones necesarias en relación con:

- ✧ Los riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores en el trabajo.
- ✧ Las medidas y actividades de protección y prevención aplicables a los riesgos.

Los trabajadores tendrán derecho a efectuar propuestas al empresario, así como a los órganos competentes en esta materia, dirigidas a la mejora de los niveles de la protección de la seguridad y la salud en los lugares de trabajo, en materia de señalización en dichos lugares, en cuanto a la

utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, en las obras de construcción y en cuanto a utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

#### **1.2.6. Formación de los trabajadores.**

El empresario deberá garantizar que cada trabajador reciba una formación teórica y práctica, suficiente y adecuada, en materia preventiva.

#### **1.2.7. Medidas de emergencia.**

El empresario, teniendo en cuenta el tamaño y la actividad de la empresa, así como la posible presencia de personas ajenas a la misma, deberá analizar las posibles situaciones de emergencia y adoptar las medidas necesarias en materia de primeros auxilios, lucha contra incendios y evacuación de los trabajadores, designando para ello al personal encargado de poner en práctica estas medidas y comprobando periódicamente, en su caso, su correcto funcionamiento.

#### **1.2.8. Riesgo grave e inminente.**

Cuando los trabajadores estén expuestos a un riesgo grave e inminente con ocasión de su trabajo, el empresario estará obligado a:

- ✧ Informar lo antes posible a todos los trabajadores afectados acerca de la existencia de dicho riesgo y de las medidas adoptadas en materia de protección.
- ✧ Dar las instrucciones necesarias para que, en caso de peligro grave, inminente e inevitable, los trabajadores puedan interrumpir su actividad y además estar en condiciones, habida cuenta de sus conocimientos y de los medios técnicos puestos a su disposición, de adoptar las medidas necesarias para evitar las consecuencias de dicho peligro.

#### **1.2.9. Vigilancia de la salud.**

El empresario garantizará a los trabajadores a su servicio la vigilancia periódica de su estado de salud en función de los riesgos inherentes al trabajo, optando por la realización de aquellos reconocimientos o pruebas que causen las menores molestias al trabajador y que sean proporcionales al riesgo.

### **1.2.10. Documentación.**

El empresario deberá elaborar y conservar a disposición de la autoridad laboral la siguiente documentación:

- ✧ Evaluación de los riesgos para la seguridad y salud en el trabajo, y planificación de la acción preventiva.
- ✧ Medidas de protección y prevención a adoptar.
- ✧ Resultado de los controles periódicos de las condiciones de trabajo.
- ✧ Práctica de los controles del estado de salud de los trabajadores.
- ✧ Relación de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales que hayan causado al trabajador una incapacidad laboral superior a un día de trabajo.

### **1.2.11. Coordinación de actividades empresariales.**

Cuando en un mismo centro de trabajo desarrollen actividades trabajadores de dos o más empresas, éstas deberán cooperar en la aplicación de la normativa sobre prevención de riesgos laborales.

### **1.2.12. Protección de trabajadores especialmente sensibles a determinados riesgos.**

El empresario garantizará, evaluando los riesgos y adoptando las medidas preventivas necesarias, la protección de los trabajadores que, por sus propias características personales o estado biológico conocido, incluidos aquellos que tengan reconocida la situación de discapacidad física, psíquica o sensorial, sean específicamente sensibles a los riesgos derivados del trabajo.

### **1.2.13. Protección de la maternidad.**

La evaluación de los riesgos deberá comprender la determinación de la naturaleza, el grado y la duración de la exposición de las trabajadoras en situación de embarazo o parto reciente, a agentes, procedimientos o condiciones de trabajo que puedan influir negativamente en la salud de las trabajadoras o del feto, adoptando, en su caso, las medidas necesarias para evitar la exposición a dicho riesgo.

#### **1.2.14. Protección de los menores.**

Antes de la incorporación al trabajo de jóvenes menores de dieciocho años, y previamente a cualquier modificación importante de sus condiciones de trabajo, el empresario deberá efectuar una evaluación de los puestos de trabajo a desempeñar por los mismos, a fin de determinar la naturaleza, el grado y la duración de su exposición, teniendo especialmente en cuenta los riesgos derivados de su falta de experiencia, de su inmadurez para evaluar los riesgos existentes o potenciales y de su desarrollo todavía incompleto.

#### **1.2.15. Relaciones de trabajo temporales, de duración determinada y en empresas de trabajo temporal.**

Los trabajadores con relaciones de trabajo temporales o de duración determinada, así como los contratados por empresas de trabajo temporal, deberán disfrutar del mismo nivel de protección en materia de seguridad y salud que los restantes trabajadores de la empresa en la que prestan sus servicios.

#### **1.2.16. Obligaciones de los trabajadores en materia de prevención de riesgos.**

Corresponde a cada trabajador velar, según sus posibilidades y mediante el cumplimiento de las medidas de prevención que en cada caso sean adoptadas, por su propia seguridad y salud en el trabajo y por la de aquellas otras personas a las que pueda afectar su actividad profesional, a causa de sus actos y omisiones en el trabajo, de conformidad con su formación y las instrucciones del empresario.

Los trabajadores, con arreglo a su formación y siguiendo las instrucciones del empresario, deberán en particular:

- ✧ Usar adecuadamente, de acuerdo con su naturaleza y los riesgos previsibles, las máquinas, aparatos, herramientas, sustancias peligrosas, equipos de transporte y, en general, cualesquiera otros medios con los que desarrollen su actividad.
- ✧ Utilizar correctamente los medios y equipos de protección facilitados por el empresario.
- ✧ No poner fuera de funcionamiento y utilizar correctamente los dispositivos de seguridad existentes.
- ✧ Informar de inmediato un riesgo para la seguridad y la salud de los trabajadores.
- ✧ Contribuir al cumplimiento de las obligaciones establecidas por la autoridad competente.

### **1.3. Servicios de prevención.**

#### **1.3.1. Protección y prevención de riesgos profesionales.**

En cumplimiento del deber de prevención de riesgos profesionales, el empresario designará uno o varios trabajadores para ocuparse de dicha actividad, constituirá un servicio de prevención o concertará dicho servicio con una entidad especializada ajena a la empresa.

Los trabajadores designados deberán tener la capacidad necesaria, disponer del tiempo y de los medios precisos y ser suficientes en número, teniendo en cuenta el tamaño de la empresa, así como los riesgos a que están expuestos los trabajadores.

En las empresas de menos de seis trabajadores, el empresario podrá asumir personalmente las funciones señaladas anteriormente, siempre que desarrolle de forma habitual su actividad en el centro de trabajo y tenga capacidad necesaria.

El empresario que no hubiere concertado el Servicio de Prevención con una entidad especializada ajena a la empresa deberá someter su sistema de prevención al control de una auditoría o evaluación externa.

#### **1.3.2. Servicios de prevención.**

Si la designación de uno o varios trabajadores fuera insuficiente para la realización de las actividades de prevención, en función del tamaño de la empresa, de los riesgos a que están expuestos los trabajadores o de la peligrosidad de las actividades desarrolladas, el empresario deberá recurrir a uno o varios servicios de prevención propios o ajenos a la empresa, que colaborarán cuando sea necesario.

Se entenderá como servicio de prevención el conjunto de medios humanos y materiales necesarios para realizar las actividades preventivas a fin de garantizar la adecuada protección de la seguridad y la salud de los trabajadores, asesorando y asistiendo para ello al empresario, a los trabajadores y a sus representantes y a los órganos de representación especializados.

### **1.4. Consulta y participación de los trabajadores.**

#### **1.4.1. Consulta de los trabajadores.**

El empresario deberá consultar a los trabajadores, con la debida antelación, la adopción de las decisiones relativas a:

- ✧ La planificación y la organización del trabajo en la empresa y la introducción de nuevas tecnologías, en todo lo relacionado con las consecuencias que éstas pudieran tener para la seguridad y la salud de los trabajadores.
- ✧ La organización y desarrollo de las actividades de protección de la salud y prevención de los riesgos profesionales en la empresa, incluida la designación de los trabajadores encargados de dichas actividades o el recurso a un servicio de prevención externo.
- ✧ La designación de los trabajadores encargados de las medidas de emergencia.
- ✧ El proyecto y la organización de la formación en materia preventiva.

#### **1.4.2. Derechos de participación y representación.**

Los trabajadores tienen derecho a participar en la empresa en las cuestiones relacionadas con la prevención de riesgos en el trabajo.

En las empresas o centros de trabajo que cuenten con seis o más trabajadores, la participación de éstos se canalizará a través de sus representantes y de la representación especializada.

#### **1.4.3. Delegados de prevención.**

Los Delegados de Prevención son los representantes de los trabajadores con funciones específicas en materia de prevención de riesgos en el trabajo. Serán designados por y entre los representantes del personal, con arreglo a la siguiente escala:

- ✧ De 50 a 100 trabajadores: 2 Delegados de Prevención.
- ✧ De 101 a 500 trabajadores: 3 Delegados de Prevención.
- ✧ De 501 a 1000 trabajadores: 4 Delegados de Prevención.
- ✧ De 1001 a 2000 trabajadores: 5 Delegados de Prevención.
- ✧ De 2001 a 3000 trabajadores: 6 Delegados de Prevención.
- ✧ De 3001 a 4000 trabajadores: 7 Delegados de Prevención.
- ✧ De 4001 en adelante: 8 Delegados de Prevención.

En las empresas de hasta treinta trabajadores el Delegado de Prevención será el Delegado de Personal. En las empresas de treinta y uno a cuarenta y nueve trabajadores habrá un Delegado de Prevención que será elegido por y entre los Delegados de Personal.

## 2. Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

### 2.1. Introducción.

La ley 31/1995, de 8 de noviembre de 1995, de Prevención de Riesgos Laborales es la norma legal por la que se determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los *riesgos derivados de las condiciones de trabajo*.

De acuerdo con el artículo 6 de dicha ley, serán las **normas reglamentarias** las que fijarán y concretarán los aspectos más técnicos de las medidas preventivas, a través de normas mínimas que garanticen la adecuada protección de los trabajadores. Entre éstas se encuentran necesariamente las destinadas a *garantizar la seguridad y la salud en los lugares de trabajo*, de manera que de su utilización no se deriven riesgos para los trabajadores.

Por todo lo expuesto, el Real Decreto **486/1997** de 14 de Abril de 1.997 establece las **disposiciones mínimas de seguridad y de salud aplicables a los lugares de trabajo**, entendiéndose como tales las áreas del centro de trabajo, edificadas o no, en las que los trabajadores deban permanecer o a las que puedan acceder en razón de su trabajo, sin incluir las obras de construcción temporales o móviles.

### 2.2. Obligaciones del empresario.

El empresario deberá adoptar las medidas necesarias para que la utilización de los lugares de trabajo no origine riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores.

En cualquier caso, los lugares de trabajo deberán cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el presente Real Decreto en cuanto a sus condiciones constructivas, orden, limpieza y mantenimiento, señalización, instalaciones de servicio o protección, condiciones ambientales, iluminación, servicios higiénicos y locales de descanso, y material y locales de primeros auxilios.

#### 2.2.1. Condiciones constructivas.

El diseño y las características constructivas de los lugares de trabajo deberán ofrecer seguridad frente a los riesgos de resbalones o caídas, choques o golpes contra objetos y derrumbaciones o caídas de materiales sobre los trabajadores, para ello el pavimento constituirá un conjunto homogéneo, llano y liso sin solución de continuidad, de material consistente, no resbaladizo o susceptible de serlo con el uso y de fácil limpieza, las paredes serán lisas, guarnecidas o pintadas

en tonos claros y susceptibles de ser lavadas y blanqueadas y los techos deberán resguardar a los trabajadores de las inclemencias del tiempo y ser lo suficientemente consistentes.

El diseño y las características constructivas de los lugares de trabajo deberán también facilitar el control de las situaciones de emergencia, en especial en caso de incendio, y posibilitar, cuando sea necesario, la rápida y segura evacuación de los trabajadores.

Todos los elementos estructurales o de servicio (cimentación, pilares, forjados, muros y escaleras) deberán tener la solidez y resistencia necesarias para soportar las cargas o esfuerzos a que sean sometidos.

Las dimensiones de los locales de trabajo deberán permitir que los trabajadores realicen su trabajo sin riesgos para su seguridad y salud y en condiciones ergonómicas aceptables, adoptando una superficie libre superior a 2 m<sup>2</sup> por trabajador, un volumen mayor a 10 m<sup>3</sup> por trabajador y una altura mínima desde el piso al techo de 2,50 m. Las zonas de los lugares de trabajo en las que exista riesgo de caída, de caída de objetos o de contacto o exposición a elementos agresivos, deberán estar claramente señalizadas.

El suelo deberá ser fijo, estable y no resbaladizo, sin irregularidades ni pendientes peligrosas. Las aberturas, desniveles y las escaleras se protegerán mediante barandillas de 90 cm de altura.

Los trabajadores deberán poder realizar de forma segura las operaciones de abertura, cierre, ajuste o fijación de ventanas, y en cualquier situación no supondrán un riesgo para éstos.

Las vías de circulación deberán poder utilizarse conforme a su uso previsto, de forma fácil y con total seguridad. La anchura mínima de las puertas exteriores y de los pasillos será de 100 cm.

Las puertas transparentes deberán tener una señalización a la altura de la vista y deberán estar protegidas contra la rotura.

Las puertas de acceso a las escaleras no se abrirán directamente sobre sus escalones, sino sobre descansos de anchura al menos igual a la de aquellos.

Los pavimentos de las rampas y escaleras serán de materiales no resbaladizos y caso de ser perforados la abertura máxima de los intersticios será de 8 mm. La pendiente de las rampas variará entre un 8 y 12 %. La anchura mínima será de 55 cm para las escaleras de servicio y de 1 m. para las de uso general.

Caso de utilizar escaleras de mano, éstas tendrán la resistencia y los elementos de apoyo y sujeción necesarios para que su utilización en las condiciones requeridas no suponga un riesgo

de caída, por rotura o desplazamiento de las mismas. En cualquier caso, no se emplearán escaleras de más de 5 m de altura, se colocarán formando un ángulo aproximado de 75º con la horizontal, sus largueros deberán prolongarse al menos 1 m sobre la zona a acceder, el ascenso, descenso y los trabajos desde escaleras se efectuarán frente a las mismas, los trabajos a más de 3,5 m de altura, desde el punto de operación al suelo, que requieran movimientos o esfuerzos peligrosos para la estabilidad del trabajador, sólo se efectuarán si se utiliza cinturón de seguridad y no serán utilizadas por dos o más personas simultáneamente.

Las vías y salidas de evacuación deberán permanecer expeditas y desembocarán en el exterior. El número, la distribución y las dimensiones de las vías deberán estar dimensionadas para poder evacuar todos los lugares de trabajo rápidamente, dotando de alumbrado de emergencia aquellas que lo requieran.

La instalación eléctrica no deberá entrañar riesgos de incendio o explosión, para ello se dimensionarán todos los circuitos considerando las sobre-intensidades previsibles y se dotará a los conductores y resto de aparamenta eléctrica de un nivel de aislamiento adecuado.

Para evitar el contacto eléctrico directo se utilizará el sistema de separación por distancia o alejamiento de las partes activas hasta una zona no accesible por el trabajador, interposición de obstáculos y/o barreras (armarios para cuadros eléctricos, tapas para interruptores, etc.) y recubrimiento o aislamiento de las partes activas.

Para evitar el contacto eléctrico indirecto se utilizará el sistema de puesta a tierra de las masas (conductores de protección conectados a las carcassas de los receptores eléctricos, líneas de enlace con tierra y electrodos artificiales) y dispositivos de corte por intensidad de defecto (interruptores diferenciales de sensibilidad adecuada al tipo de local, características del terreno y constitución de los electrodos artificiales).

### **2.2.2. Orden, limpieza y mantenimiento. señalización.**

Las zonas de paso, salidas y vías de circulación de los lugares de trabajo y, en especial, las salidas y vías de circulación previstas para la evacuación en casos de emergencia, deberán permanecer libres de obstáculos.

Las características de los suelos, techos y paredes serán tales que permitan dicha limpieza y mantenimiento. Se eliminarán con rapidez los desperdicios, las manchas de grasa, los residuos de sustancias peligrosas y demás productos residuales que puedan originar accidentes o contaminar el ambiente de trabajo.

Los lugares de trabajo y, en particular, sus instalaciones, deberán ser objeto de un mantenimiento periódico.

### 2.2.3. Condiciones ambientales.

La exposición a las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no debe suponer un riesgo para la seguridad y la salud de los trabajadores.

En los locales de trabajo cerrados deberán cumplirse las condiciones siguientes:

- ✧ La temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17 y 27 °C. En los locales donde se realicen trabajos ligeros estará comprendida entre 14 y 25 °C.
- ✧ La humedad relativa estará comprendida entre el 30 y el 70 por 100, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática en los que el límite inferior será el 50 por 100.
- ✧ Los trabajadores no deberán estar expuestos de forma frecuente o continuada a corrientes de aire cuya velocidad exceda los siguientes límites:
  - Trabajos en ambientes no calurosos: 0,25 m/s.
  - Trabajos sedentarios en ambientes calurosos: 0,5 m/s.
  - Trabajos no sedentarios en ambientes calurosos: 0,75 m/s.
- ✧ La renovación mínima del aire de los locales de trabajo será de 30 m<sup>3</sup> de aire limpio por hora y trabajador en el caso de trabajos sedentarios en ambientes no calurosos ni contaminados por humo de tabaco y 50 m<sup>3</sup> en los casos restantes.
- ✧ Se evitarán los olores desagradables.

### 2.2.4. Iluminación.

La iluminación será natural con puertas y ventanas acristaladas, complementándose con iluminación artificial en las horas de visibilidad deficiente. Los puestos de trabajo llevarán además puntos de luz individuales, con el fin de obtener una visibilidad notable. Los niveles de iluminación mínimos establecidos (lux) son los siguientes:

- ✧ Áreas o locales de uso ocasional: 50 lux
- ✧ Áreas o locales de uso habitual: 100 lux
- ✧ Vías de circulación de uso ocasional: 25 lux.

- ✧ Vías de circulación de uso habitual: 50 lux.
- ✧ Zonas de trabajo con bajas exigencias visuales: 100 lux.
- ✧ Zonas de trabajo con exigencias visuales moderadas: 200 lux.
- ✧ Zonas de trabajo con exigencias visuales altas: 500 lux.
- ✧ Zonas de trabajo con exigencias visuales muy altas: 1000 lux.

La iluminación anteriormente especificada deberá poseer una uniformidad adecuada, mediante la distribución uniforme de luminarias, evitándose los deslumbramientos directos por equipos de alta luminancia.

Se instalará además el correspondiente alumbrado de emergencia y señalización con el fin de poder iluminar las vías de evacuación en caso de fallo del alumbrado general.

#### **2.2.5. Servicios higiénicos y locales de descanso.**

En el local se dispondrá de agua potable en cantidad suficiente y fácilmente accesible por los trabajadores.

Se dispondrán vestuarios cuando los trabajadores deban llevar ropa especial de trabajo, provistos de asientos y de armarios o taquillas individuales con llave, con una capacidad suficiente para guardar la ropa y el calzado. Si los vestuarios no fuesen necesarios, se dispondrán colgadores o armarios para colocar la ropa.

Existirán aseos con espejos, retretes con descarga automática de agua y papel higiénico y lavabos con agua corriente, caliente si es necesario, jabón y toallas individuales u otros sistema de secado con garantías higiénicas. Dispondrán además de duchas de agua corriente, caliente y fría, cuando se realicen habitualmente trabajos sucios, contaminantes o que originen elevada sudoración. Llevarán alicatados los paramentos hasta una altura de 2 m. del suelo, con baldosín cerámico esmaltado de color blanco. El solado será continuo e impermeable, formado por losas de gres rugoso antideslizante.

Si el trabajo se interrumpiera regularmente, se dispondrán espacios donde los trabajadores puedan permanecer durante esas interrupciones, diferenciándose espacios para fumadores y no fumadores.



### 2.2.6. Material y locales de primeros auxilios.

El lugar de trabajo dispondrá de material para primeros auxilios en caso de accidente, que deberá ser adecuado, en cuanto a su cantidad y características, al número de trabajadores y a los riesgos a que estén expuestos.

Como mínimo se dispondrá, en lugar reservado y a la vez de fácil acceso, de un botiquín portátil, que contendrá en todo momento, agua oxigenada, alcohol de 96, tintura de yodo, mercurocromo, gasas estériles, algodón hidrófilo, bolsa de agua, torniquete, guantes esterilizados y desechables, jeringuillas, hervidor, agujas, termómetro clínico, gasas, esparadrapo, apósitos adhesivos, tijeras, pinzas, antiespasmódicos, analgésicos y vendas.

### 3. Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

#### 3.1. Introducción.

La ley 31/1995, de 8 de noviembre de 1995, de Prevención de Riesgos Laborales es la norma legal por la que se determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los *riesgos derivados de las condiciones de trabajo*.

De acuerdo con el artículo 6 de dicha ley, serán las **normas reglamentarias** las que fijarán las medidas mínimas que deben adoptarse para la adecuada protección de los trabajadores. Entre éstas se encuentran las destinadas a *garantizar que en los lugares de trabajo exista una adecuada señalización de seguridad y salud*, siempre que los riesgos no puedan evitarse o limitarse suficientemente a través de medios técnicos de protección colectiva.

Por todo lo expuesto, el Real Decreto **485/1997** de 14 de Abril de 1.997 establece las **disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y de salud en el trabajo**, entendiéndose como tales aquellas señalizaciones que referidas a un objeto, actividad o situación determinada, proporcionen una indicación o una obligación relativa a la seguridad o la salud en el trabajo mediante una señal en forma de panel, un color, una señal luminosa o acústica, una comunicación verbal o una señal gestual.

#### 3.2. Obligación general del empresario.

La elección del tipo de señal y del número y emplazamiento de las señales o dispositivos de señalización a utilizar en cada caso se realizará de forma que la señalización resulte lo más eficaz posible, teniendo en cuenta:

- ✧ Las características de la señal.
- ✧ Los riesgos, elementos o circunstancias que hayan de señalizarse.
- ✧ La extensión de la zona a cubrir.
- ✧ El número de trabajadores afectados.

Para la señalización de desniveles, obstáculos u otros elementos que originen riesgo de caída de personas, choques o golpes, así como para las señalizaciones de riesgo eléctrico, presencia de materias inflamables, tóxicas, corrosivas o riesgo biológico, podrá optarse por una señal de



advertencia de forma triangular, con un pictograma característico de color negro sobre fondo amarillo y bordes negros.

Las vías de circulación de vehículos deberán estar delimitadas con claridad mediante franjas continuas de color blanco o amarillo.

Los equipos de protección contra incendios deberán ser de color rojo.

La señalización para la localización e identificación de las vías de evacuación y de los equipos de salvamento o socorro (botiquín portátil) se realizará mediante una señal de forma cuadrada o rectangular, con un pictograma característico de color blanco sobre fondo verde.

La señalización dirigida a alertar a los trabajadores o a terceros de la aparición de una situación de peligro y de la consiguiente y urgente necesidad de actuar de una forma determinada o de evacuar la zona de peligro, se realizará mediante una señal luminosa, una señal acústica o una comunicación verbal.

Los medios y dispositivos de señalización deberán ser limpiados, mantenidos y verificados regularmente.

## 4. Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

### 4.1. Introducción.

La ley 31/1995, de 8 de noviembre de 1995, de Prevención de Riesgos Laborales es la norma legal por la que se determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los *riesgos derivados de las condiciones de trabajo*.

De acuerdo con el artículo 6 de dicha ley, serán las **normas reglamentarias** las que fijarán las medidas mínimas que deben adoptarse para la adecuada protección de los trabajadores. Entre éstas se encuentran las destinadas a *garantizar que de la presencia o utilización de los equipos de trabajo puestos a disposición de los trabajadores en la empresa o centro de trabajo no se deriven riesgos para la seguridad o salud de los mismos*.

Por todo lo expuesto, el Real Decreto **1215/1997** de 18 de Julio de 1.997 establece las **disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo**, entendiéndose como tales cualquier máquina, aparato, instrumento o instalación utilizado en el trabajo.

### 4.2. Obligación general del empresario.

El empresario adoptará las medidas necesarias para que los equipos de trabajo que se pongan a disposición de los trabajadores sean adecuados al trabajo que deba realizarse y convenientemente adaptados al mismo, de forma que garanticen la seguridad y la salud de los trabajadores al utilizar dichos equipos.

Deberá utilizar únicamente equipos que satisfagan cualquier disposición legal o reglamentaria que les sea de aplicación.

Para la elección de los equipos de trabajo el empresario deberá tener en cuenta los siguientes factores:

- ❖ Las condiciones y características específicas del trabajo a desarrollar.
- ❖ Los riesgos existentes para la seguridad y salud de los trabajadores en el lugar de trabajo.
- ❖ En su caso, las adaptaciones necesarias para su utilización por trabajadores discapacitados.

Adoptará las medidas necesarias para que, mediante un mantenimiento adecuado, los equipos de trabajo se conserven durante todo el tiempo de utilización en unas condiciones adecuadas. Todas las operaciones de mantenimiento, ajuste, desbloqueo, revisión o reparación de los equipos de trabajo se realizará tras haber parado o desconectado el equipo. Estas operaciones deberán ser encomendadas al personal especialmente capacitado para ello.

El empresario deberá garantizar que los trabajadores reciban una formación e información adecuadas a los riesgos derivados de los equipos de trabajo. La información, suministrada preferentemente por escrito, deberá contener, como mínimo, las indicaciones relativas a:

- ✧ Las condiciones y forma correcta de utilización de los equipos de trabajo, teniendo en cuenta las instrucciones del fabricante, así como las situaciones o formas de utilización anormales y peligrosas que puedan preverse.
- ✧ Las conclusiones que, en su caso, se puedan obtener de la experiencia adquirida en la utilización de los equipos de trabajo.

#### **4.2.1. Disposiciones mínimas generales aplicables a los equipos de trabajo.**

Los órganos de accionamiento de un equipo de trabajo que tengan alguna incidencia en la seguridad deberán ser claramente visibles e identificables y no deberán acarrear riesgos como consecuencia de una manipulación involuntaria.

Cada equipo de trabajo deberá estar provisto de un órgano de accionamiento que permita su parada total en condiciones de seguridad.

Cualquier equipo de trabajo que entrañe riesgo de caída de objetos o de proyecciones deberá estar provisto de dispositivos de protección adecuados a dichos riesgos.

Cualquier equipo de trabajo que entrañe riesgo por emanación de gases, vapores o líquidos o por emisión de polvo deberá estar provisto de dispositivos adecuados de captación o extracción cerca de la fuente emisora correspondiente.

Si fuera necesario para la seguridad o la salud de los trabajadores, los equipos de trabajo y sus elementos deberán estabilizarse por fijación o por otros medios.

Cuando los elementos móviles de un equipo de trabajo puedan entrañar riesgo de accidente por contacto mecánico, deberán ir equipados con resguardos o dispositivos que impidan el acceso a las zonas peligrosas.

Las zonas y puntos de trabajo o mantenimiento de un equipo de trabajo deberán estar adecuadamente iluminadas en función de las tareas que deban realizarse.

Las partes de un equipo de trabajo que alcancen temperaturas elevadas o muy bajas deberán estar protegidas cuando corresponda contra los riesgos de contacto o la proximidad de los trabajadores.

Todo equipo de trabajo deberá ser adecuado para proteger a los trabajadores expuestos contra el riesgo de contacto directo o indirecto de la electricidad y los que entrañen riesgo por ruido, vibraciones o radiaciones deberá disponer de las protecciones o dispositivos adecuados para limitar, en la medida de lo posible, la generación y propagación de estos agentes físicos.

Las herramientas manuales deberán estar construidas con materiales resistentes y la unión entre sus elementos deberá ser firme, de manera que se eviten las roturas o proyecciones de los mismos.

La utilización de todos estos equipos no podrá realizarse en contradicción con las instrucciones facilitadas por el fabricante, comprobándose antes del iniciar la tarea que todas sus protecciones y condiciones de uso son las adecuadas.

Deberán tomarse las medidas necesarias para evitar el atrapamiento del cabello, ropas de trabajo u otros objetos del trabajador, evitando, en cualquier caso, someter a los equipos a sobrecargas, sobrepresiones, velocidades o tensiones excesivas.

#### **4.2.2. Disposiciones mínimas adicionales aplicables a los equipos de trabajo móviles.**

Los equipos con trabajadores transportados deberán evitar el contacto de éstos con ruedas y orugas y el aprisionamiento por las mismas. Para ello dispondrán de una estructura de protección que impida que el equipo de trabajo incline más de un cuarto de vuelta o una estructura que garantice un espacio suficiente alrededor de los trabajadores transportados cuando el equipo pueda inclinarse más de un cuarto de vuelta. No se requerirán estas estructuras de protección cuando el equipo de trabajo se encuentre estabilizado durante su empleo.

Las carretillas elevadoras deberán estar acondicionadas mediante la instalación de una cabina para el conductor, una estructura que impida que la carretilla vuelque, una estructura que garantice que, en caso de vuelco, quede espacio suficiente para el trabajador entre el suelo y determinadas partes de dicha carretilla y una estructura que mantenga al trabajador sobre el asiento de conducción en buenas condiciones.

Los equipos de trabajo automotores deberán contar con dispositivos de frenado y parada, con dispositivos para garantizar una visibilidad adecuada y con una señalización acústica de advertencia. En cualquier caso, su conducción estará reservada a los trabajadores que hayan recibido una información específica.

#### **4.2.3. Disposiciones mínimas adicionales aplicables a los equipos de trabajo para elevación de cargas.**

Deberán estar instalados firmemente, teniendo presente la carga que deban levantar y las tensiones inducidas en los puntos de suspensión o de fijación. En cualquier caso, los aparatos de izar estarán equipados con limitador del recorrido del carro y de los ganchos, los motores eléctricos estarán provistos de limitadores de altura y del peso, los ganchos de sujeción serán de acero con "pestillos de seguridad" y los carriles para desplazamiento estarán limitados a una distancia de 1 m de su término mediante topes de seguridad de final de carrera eléctricos.

Deberá figurar claramente la carga nominal.

Deberán instalarse de modo que se reduzca el riesgo de que la carga caiga en picado, se suelte o se desvíe involuntariamente de forma peligrosa. En cualquier caso, se evitará la presencia de trabajadores bajo las cargas suspendidas. Caso de ir equipadas con cabinas para trabajadores deberá evitarse la caída de éstas, su aplastamiento o choque.

Los trabajos de izado, transporte y descenso de cargas suspendidas, quedarán interrumpidos bajo régimen de vientos superiores a los 60 km/h.

#### **4.2.4. Disposiciones mínimas adicionales aplicables a los equipos de trabajo para movimiento de tierras y maquinaria pesada en general.**

Las máquinas para los movimientos de tierras estarán dotadas de faros de marcha hacia adelante y de retroceso, servofrenos, freno de mano, bocina automática de retroceso, retrovisores en ambos lados, pórtico de seguridad antivuelco y anti-impactos y un extintor.

Se prohíbe trabajar o permanecer dentro del radio de acción de la maquinaria de movimiento de tierras, para evitar los riesgos por atropello.

Durante el tiempo de parada de las máquinas se señalizará su entorno con "señales de peligro", para evitar los riesgos por fallo de frenos o por atropello durante la puesta en marcha.

Si se produjese contacto con líneas eléctricas el maquinista permanecerá inmóvil en su puesto y solicitará auxilio por medio de las bocinas. De ser posible el salto sin riesgo de contacto eléctrico, el maquinista saltará fuera de la máquina sin tocar, al unísono, la máquina y el terreno.

Antes del abandono de la cabina, el maquinista habrá dejado en reposo, en contacto con el pavimento (la cuchilla, cazo, etc.), puesto el freno de mano y parado el motor extrayendo la llave de contacto para evitar los riesgos por fallos del sistema hidráulico.

Las pasarelas y peldaños de acceso para conducción o mantenimiento permanecerán limpios de gravas, barros y aceite, para evitar los riesgos de caída.

Se prohíbe el transporte de personas sobre las máquinas para el movimiento de tierras, para evitar los riesgos de caídas o de atropellos.

Se instalarán topes de seguridad de fin de recorrido, ante la coronación de los cortes (taludes o terraplenes) a los que debe aproximarse la maquinaria empleada en el movimiento de tierras, para evitar los riesgos por caída de la máquina.

Se señalarán los caminos de circulación interna mediante cuerda de banderolas y señales normalizadas de tráfico.

Se prohíbe el acopio de tierras a menos de 2 m. del borde de la excavación (como norma general).

No se debe fumar cuando se abastezca de combustible la máquina, pues podría inflamarse. Al realizar dicha tarea el motor deberá permanecer parado.

Se prohíbe realizar trabajos en un radio de 10 m entorno a las máquinas de hinca, en prevención de golpes y atropellos.

Las cintas transportadoras estarán dotadas de pasillo lateral de visita de 60 cm de anchura y barandillas de protección de éste de 90 cm de altura. Estarán dotadas de encauzadores antidesprendimientos de objetos por rebose de materiales. Bajo las cintas, en todo su recorrido, se instalarán bandejas de recogida de objetos desprendidos.

Los compresores serán de los llamados “silenciosos” en la intención de disminuir el nivel de ruido. La zona dedicada para la ubicación del compresor quedará acordonada en un radio de 4 m. Las mangueras estarán en perfectas condiciones de uso, es decir, sin grietas ni desgastes que puedan producir un reventón.

Cada tajo con martillos neumáticos, estará trabajado por dos cuadrillas que se turnarán cada hora, en prevención de lesiones por permanencia continuada recibiendo vibraciones. Los pisones mecánicos se guiarán avanzando frontalmente, evitando los desplazamientos laterales. Para realizar estas tareas se utilizará faja elástica de protección de cintura, muñequeras bien ajustadas, botas de seguridad, cascos anti-ruido y una mascarilla con filtro mecánico recambiable.

#### **4.2.5. Disposiciones mínimas adicionales aplicables a la maquinaria herramienta.**

Las máquinas-herramienta estarán protegidas eléctricamente mediante doble aislamiento y sus motores eléctricos estarán protegidos por la carcasa.

Las que tengan capacidad de corte tendrán el disco protegido mediante una carcasa anti-proyecciones.

Las que se utilicen en ambientes inflamables o explosivos estarán protegidas mediante carcasas anti-deflagrantes. Se prohíbe la utilización de máquinas accionadas mediante combustibles líquidos en lugares cerrados o de ventilación insuficiente.

Se prohíbe trabajar sobre lugares encharcados, para evitar los riesgos de caídas y los eléctricos.

Para todas las tareas se dispondrá una iluminación adecuada, en torno a 100 lux.

En prevención de los riesgos por inhalación de polvo, se utilizarán en vía húmeda las herramientas que lo produzcan.

Las mesas de sierra circular, cortadoras de material cerámico y sierras de disco manual no se ubicarán a distancias inferiores a tres metros del borde de los forjados, con la excepción de los que estén claramente protegidos (redes o barandillas, petos de remate, etc.). Bajo ningún concepto se retirará la protección del disco de corte, utilizándose en todo momento gafas de seguridad anti-proyección de partículas. Como normal general, se deberán extraer los clavos o partes metálicas hincadas en el elemento a cortar.

Con las pistolas fija-clavos no se realizarán disparos inclinados, se deberá verificar que no hay nadie al otro lado del objeto sobre el que se dispara, se evitará clavar sobre fábricas de ladrillo hueco y se asegurará el equilibrio de la persona antes de efectuar el disparo.

Para la utilización de los taladros portátiles y rozadoras eléctricas se elegirán siempre las brocas y discos adecuados al material a taladrar, se evitará realizar taladros en una sola maniobra y taladros o rozaduras inclinadas a pulso y se tratará no recalentar las brocas y discos.



Las pulidoras y abrillantadoras de suelos, lijadoras de madera y alisadoras mecánicas tendrán el manillar de manejo y control revestido de material aislante y estarán dotadas de aro de protección anti-atrapamientos o abrasiones.

En las tareas de soldadura por arco eléctrico se utilizará yelmo del soldar o pantalla de mano, no se mirará directamente al arco voltaico, no se tocarán las piezas recientemente soldadas, se soldará en un lugar ventilado, se verificará la inexistencia de personas en el entorno vertical de puesto de trabajo, no se dejará directamente la pinza en el suelo o sobre la perfilería, se escogerá el electrodo adecuada para el cordón a ejecutar y se suspenderán los trabajos de soldadura con vientos superiores a 60 km/h y a la intemperie con régimen de lluvias.

En la soldadura oxiacetilénica (oxicorte) no se mezclarán botellas de gases distintos, éstas se transportarán sobre bateas enjauladas en posición vertical y atadas, no se ubicarán al sol ni en posición inclinada y los mecheros estarán dotados de válvulas anti-retroceso de la llama. Si se desprenden pinturas se trabajará con mascarilla protectora y se hará al aire libre o en un local ventilado.

## 5. Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

### 5.1. Introducción.

La ley 31/1995, de 8 de noviembre de 1995, de Prevención de Riesgos Laborales es la norma legal por la que se determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los *riesgos derivados de las condiciones de trabajo*.

De acuerdo con el artículo 6 de dicha ley, serán las **normas reglamentarias** las que fijarán las medidas mínimas que deben adoptarse para la adecuada protección de los trabajadores. Entre éstas se encuentran necesariamente las destinadas a *garantizar la seguridad y la salud en las obras de construcción*.

Por todo lo expuesto, el Real Decreto **1627/1997** de 24 de Octubre de 1.997 establece las **disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción**, entendiéndose como tales cualquier obra, pública o privada, en la que se efectúen trabajos de construcción o ingeniería civil.

La obra en proyecto referente a la Ejecución de una Edificación de uso Industrial o Comercial se encuentra incluida en el **Anexo I** de dicha legislación, con la clasificación **a) Excavación, b) Movimiento de tierras, c) Construcción, d) Montaje y desmontaje de elementos prefabricados, e) Acondicionamiento o instalación, l) Trabajos de pintura y de limpieza y m) Saneamiento**.

La redacción del **Estudio de Seguridad y Salud** tendrá carácter obligatorio cuando en las obras a que se refiere el proyecto de referencia se dé alguno de los siguientes supuestos:

- ✧ Que el presupuesto de ejecución material de la obra por contrata sea igual o superior a 75 millones de pesetas (450.759,08 €)..
- ✧ Que la duración estimada es superior a 30 días laborables, empleándose en ningún momento a más de 20 trabajadores simultáneamente.
- ✧ Que el volumen de mano de obra estimada, entendiéndose por tal la suma de los días de trabajo del total de los trabajadores en la obra sea superior a 500.
- ✧ Que se trate de obras de túneles o galerías, conducciones subterráneas y presas.

## 5.2. Estudio básico de seguridad y salud.

### 5.2.1. Riesgos más frecuentes en las obras de construcción.

Los *Oficios* más comunes en las obras de construcción son los siguientes:

- ✧ Movimiento de tierras. Excavación de pozos y zanjas.
- ✧ Relleno de tierras.
- ✧ Encofrados.
- ✧ Trabajos con ferralla, manipulación y puesta en obra.
- ✧ Trabajos de manipulación del hormigón.
- ✧ Montaje de estructura metálica
- ✧ Montaje de prefabricados.
- ✧ Albañilería.
- ✧ Cubiertas.
- ✧ Alicatados.
- ✧ Enfoscados y enlucidos.
- ✧ Solados con mármoles, terrazos, plaquetas y asimilables.
- ✧ Carpintería de madera, metálica y cerrajería.
- ✧ Montaje de vidrio.
- ✧ Pintura y barnizados.
- ✧ Instalación eléctrica definitiva y provisional de obra.
- ✧ Instalación de fontanería, aparatos sanitarios, calefacción y aire acondicionado.
- ✧ Instalación de antenas y pararrayos.

Los *riesgos más frecuentes* durante estos oficios son los descritos a continuación:

- ✧ Deslizamientos, desprendimientos de tierras por diferentes motivos (no emplear el talud adecuado, por variación de la humedad del terreno, etc.).
- ✧ Riesgos derivados del manejo de máquinas-herramienta y maquinaria pesada en general.



- ✧ Atropellos, colisiones, vuelcos y falsas maniobras de la maquinaria para movimiento de tierras.
- ✧ Caídas al mismo o distinto nivel de personas, materiales y útiles.
- ✧ Los derivados de los trabajos pulverulentos.
- ✧ Contactos con el hormigón (dermatitis por cementos, etc.).
- ✧ Caída de los encofrados al vacío, caída de personal al caminar o trabajar sobre los fondillos de las vigas, pisadas sobre objetos punzantes, etc.
- ✧ Desprendimientos por mal apilado de la madera, planchas metálicas, etc.
- ✧ Cortes y heridas en manos y pies, aplastamientos, tropiezos y torceduras al caminar sobre las armaduras.
- ✧ Hundimientos, rotura o reventón de encofrados, fallos de entibaciones.
- ✧ Contactos con la energía eléctrica (directos e indirectos), electrocuciones, quemaduras, etc.
- ✧ Los derivados de la rotura fortuita de las planchas de vidrio.
- ✧ Cuerpos extraños en los ojos, etc.
- ✧ Agresión por ruido y vibraciones en todo el cuerpo.
- ✧ Microclima laboral (frío-calor), agresión por radiación ultravioleta, infrarroja.
- ✧ Agresión mecánica por proyección de partículas.
- ✧ Golpes.
- ✧ Cortes por objetos y/o herramientas.
- ✧ Incendio y explosiones.
- ✧ Riesgo por sobreesfuerzos musculares y malos gestos.
- ✧ Carga de trabajo física.
- ✧ Deficiente iluminación.
- ✧ Efecto psico-fisiológico de horarios y turno.

### 5.2.2. Medidas preventivas de carácter general.

Se establecerán a lo largo de la obra letreros divulgativos y señalización de los riesgos (vuelo, atropello, colisión, caída en altura, corriente eléctrica, peligro de incendio, materiales inflamables, prohibido fumar, etc.), así como las medidas preventivas previstas (uso obligatorio del casco, uso obligatorio de las botas de seguridad, uso obligatorio de guantes, uso obligatorio de cinturón de seguridad, etc.).

Se habilitarán zonas o estancias para el acopio de material y útiles (ferralla, perfilería metálica, piezas prefabricadas, carpintería metálica y de madera, vidrio, pinturas, barnices y disolventes, material eléctrico, aparatos sanitarios, tuberías, aparatos de calefacción y climatización, etc.).

Se procurará que los trabajos se realicen en superficies secas y limpias, utilizando los elementos de protección personal, fundamentalmente calzado antideslizante reforzado para protección de golpes en los pies, casco de protección para la cabeza y cinturón de seguridad.

El transporte aéreo de materiales y útiles se hará suspendiéndolos desde dos puntos mediante eslingas, y se guiarán por tres operarios, dos de ellos guiarán la carga y el tercero ordenará las maniobras.

El transporte de elementos pesados (sacos de aglomerante, ladrillos, arenas, etc.) se hará sobre carretilla de mano y así evitar sobreesfuerzos.

Los andamios sobre borriquetas, para trabajos en altura, tendrán siempre plataformas de trabajo de anchura no inferior a 60 cm (3 tablones trabados entre sí), prohibiéndose la formación de andamios mediante bidones, cajas de materiales, bañeras, etc.

Se tenderán cables de seguridad amarrados a elementos estructurales sólidos en los que enganchar el mosquetón del cinturón de seguridad de los operarios encargados de realizar trabajos en altura.

La distribución de máquinas, equipos y materiales en los locales de trabajo será la adecuada, delimitando las zonas de operación y paso, los espacios destinados a puestos de trabajo, las separaciones entre máquinas y equipos, etc.

El área de trabajo estará al alcance normal de la mano, sin necesidad de ejecutar movimientos forzados.

Se vigilarán los esfuerzos de torsión o de flexión del tronco, sobre todo si el cuerpo está en posición inestable.

Se evitarán las distancias demasiado grandes de elevación, descenso o transporte, así como un ritmo demasiado alto de trabajo.

Se tratará que la carga y su volumen permitan asirla con facilidad.

Se recomienda evitar los barrizales, en prevención de accidentes.

Se debe seleccionar la herramienta correcta para el trabajo a realizar, manteniéndola en buen estado y uso correcto de ésta. Después de realizar las tareas, se guardarán en lugar seguro.

La iluminación para desarrollar los oficios convenientemente oscilará en torno a los 100 lux.

Es conveniente que los vestidos estén configurados en varias capas al comprender entre ellas cantidades de aire que mejoran el aislamiento al frío. Empleo de guantes, botas y orejeras. Se resguardará al trabajador de vientos mediante apantallamientos y se evitará que la ropa de trabajo se empape de líquidos evaporables.

Si el trabajador sufriese estrés térmico se deben modificar las condiciones de trabajo, con el fin de disminuir su esfuerzo físico, mejorar la circulación de aire, apantallar el calor por radiación, dotar al trabajador de vestimenta adecuada (sombrero, gafas de sol, cremas y lociones solares), vigilar que la ingesta de agua tenga cantidades moderadas de sal y establecer descansos de recuperación si las soluciones anteriores no son suficientes.

El aporte alimentario calórico debe ser suficiente para compensar el gasto derivado de la actividad y de las contracciones musculares.

Para evitar el contacto eléctrico directo se utilizará el sistema de separación por distancia o alejamiento de las partes activas hasta una zona no accesible por el trabajador, interposición de obstáculos y/o barreras (armarios para cuadros eléctricos, tapas para interruptores, etc.) y recubrimiento o aislamiento de las partes activas.

Para evitar el contacto eléctrico indirecto se utilizará el sistema de puesta a tierra de las masas (conductores de protección, líneas de enlace con tierra y electrodos artificiales) y dispositivos de corte por intensidad de defecto (interruptores diferenciales de sensibilidad adecuada a las condiciones de humedad y resistencia de tierra de la instalación provisional).

Las vías y salidas de emergencia deberán permanecer expeditas y desembocar lo más directamente posible en una zona de seguridad.

El número, la distribución y las dimensiones de las vías y salidas de emergencia dependerán del uso, de los equipos y de las dimensiones de la obra y de los locales, así como el número máximo de personas que puedan estar presentes en ellos.

En caso de avería del sistema de alumbrado, las vías y salidas de emergencia que requieran iluminación deberán estar equipadas con iluminación de seguridad de suficiente intensidad.

Será responsabilidad del empresario garantizar que los primeros auxilios puedan prestarse en todo momento por personal con la suficiente formación para ello.

### **5.2.3. Medidas preventivas de carácter particular para cada oficio**

#### Movimiento de tierras. Excavación de pozos y zanjas.

Antes del inicio de los trabajos, se inspeccionará el tajo con el fin de detectar posibles grietas o movimientos del terreno.

Se prohibirá el acopio de tierras o de materiales a menos de dos metros del borde de la excavación, para evitar sobrecargas y posibles vuelcos del terreno, señalizándose además mediante una línea esta distancia de seguridad.

Se eliminarán todos los bolos o viseras de los frentes de la excavación que por su situación ofrezcan el riesgo de desprendimiento.

La maquinaria estará dotada de peldaños y asidero para subir o bajar de la cabina de control. No se utilizará como apoyo para subir a la cabina las llantas, cubiertas, cadenas y guardabarros.

Los desplazamientos por el interior de la obra se realizarán por caminos señalizados.

Se utilizarán redes tensas o mallazo electro-soldado situadas sobre los taludes, con un solape mínimo de 2 m.

La circulación de los vehículos se realizará a un máximo de aproximación al borde de la excavación no superior a los 3 m. para vehículos ligeros y de 4 m para pesados.

Se conservarán los caminos de circulación interna cubriendo baches, eliminando blandones y compactando mediante zavorras.

El acceso y salida de los pozos y zanjas se efectuará mediante una escalera sólida, anclada en la parte superior del pozo, que estará provista de zapatas antideslizantes.

Cuando la profundidad del pozo sea igual o superior a 1,5 m., se entibará (o encamisará) el perímetro en prevención de derrumbamientos.

Se efectuará el achique inmediato de las aguas que afloran (o caen) en el interior de las zanjas, para evitar que se altere la estabilidad de los taludes.

En presencia de líneas eléctricas en servicio se tendrán en cuenta las siguientes condiciones:

Se procederá a solicitar de la compañía propietaria de la línea eléctrica el corte de fluido y puesta a tierra de los cables, antes de realizar los trabajos.

La línea eléctrica que afecta a la obra será desviada de su actual trazado al límite marcado en los planos.

La distancia de seguridad con respecto a las líneas eléctricas que cruzan la obra, queda fijada en 5 m., en zonas accesibles durante la construcción.

Se prohíbe la utilización de cualquier calzado que no sea aislante de la electricidad en proximidad con la línea eléctrica.

#### Relleno de tierras.

Se prohíbe el transporte de personal fuera de la cabina de conducción y/o en número superior a los asientos existentes en el interior.

Se regarán periódicamente los tajos, las cargas y cajas de camión, para evitar las polvaredas. Especialmente si se debe conducir por vías públicas, calles y carreteras.

Se instalará, en el borde de los terraplenes de vertido, sólidos topes de limitación de recorrido para el vertido en retroceso.

Se prohíbe la permanencia de personas en un radio no inferior a los 5 m. en torno a las compactadoras y apisonadoras en funcionamiento.

Los vehículos de compactación y apisonado, irán provistos de cabina de seguridad de protección en caso de vuelco.

#### Encofrados.

Se prohíbe la permanencia de operarios en las zonas de batido de cargas durante las operaciones de izado de tablonas, sopandas, puntales y ferralla; igualmente se procederá durante la elevación de viguetas, nervios, armaduras, pilares, bovedillas, etc.

El ascenso y descenso del personal a los encofrados, se efectuará a través de escaleras de mano reglamentarias.

Se instalarán barandillas reglamentarias en los frentes de losas horizontales, para impedir la caída al vacío de las personas.

Los clavos o puntas existentes en la madera usada, se extraerán o remacharán, según casos.

Queda prohibido encofrar sin antes haber cubierto el riesgo de caída desde altura mediante la ubicación de redes de protección.

#### Trabajos con ferralla, manipulación y puesta en obra.

Los paquetes de redondos se almacenarán en posición horizontal sobre durmientes de madera capa a capa, evitándose las alturas de las pilas superiores al 1'50 m.

Se efectuará un barrido diario de puntas, alambres y recortes de ferralla en torno al banco (o bancos, borriquetas, etc.) de trabajo.

Queda prohibido el transporte aéreo de armaduras de pilares en posición vertical.

Se prohíbe trepar por las armaduras en cualquier caso.

Se prohíbe el montaje de zunchos perimetrales, sin antes estar correctamente instaladas las redes de protección.

Se evitará, en lo posible, caminar por los fondillos de los encofrados de jácenas o vigas.

#### Trabajos de manipulación del hormigón.

Se instalarán fuertes topes final de recorrido de los camiones hormigonera, en evitación de vuelcos.

Se prohíbe acercar las ruedas de los camiones hormigoneras a menos de 2 m. del borde de la excavación.

Se prohíbe cargar el cubo por encima de la carga máxima admisible de la grúa que lo sustenta.

Se procurará no golpear con el cubo los encofrados, ni las entibaciones.

La tubería de la bomba de hormigonado, se apoyará sobre caballetes, arriostrándose las partes susceptibles de movimiento.

Para vibrar el hormigón desde posiciones sobre la cimentación que se hormigona, se establecerán plataformas de trabajo móviles formadas por un mínimo de tres tablones, que se dispondrán perpendicularmente al eje de la zanja o zapata.

El hormigonado y vibrado del hormigón de pilares, se realizará desde "castilletes de hormigonado"

En el momento en el que el forjado lo permita, se izará en torno a los huecos el peto definitivo de fábrica, en prevención de caídas al vacío.

Se prohíbe transitar pisando directamente sobre las bovedillas (cerámicas o de hormigón), en prevención de caídas a distinto nivel.

#### Montaje de estructura metálica.

Los perfiles se apilarán ordenadamente sobre durmientes de madera de soporte de cargas, estableciendo capas hasta una altura no superior al 1'50 m.

Una vez montada la "primera altura" de pilares, se tenderán bajo ésta redes horizontales de seguridad.

Se prohíbe elevar una nueva altura, sin que en la inmediata inferior se hayan concluido los cordones de soldadura.

Las operaciones de soldadura en altura, se realizarán desde el interior de una guindola de soldador, provista de una barandilla perimetral de 1 m. de altura formada por pasamanos, barra intermedia y rodapié. El soldador, además, amarrará el mosquetón del cinturón a un cable de seguridad, o a argollas soldadas a tal efecto en la perfilería.

Se prohíbe la permanencia de operarios dentro del radio de acción de cargas suspendidas.

Se prohíbe la permanencia de operarios directamente bajo tajos de soldadura.

Se prohíbe trepar directamente por la estructura y desplazarse sobre las alas de una viga sin atar el cinturón de seguridad.

El ascenso o descenso a/o de un nivel superior, se realizará mediante una escalera de mano provista de zapatas antideslizantes y ganchos de cuelgue e inmovilidad dispuestos de tal forma que sobrepase la escalera 1 m. la altura de desembarco.

El riesgo de caída al vacío por fachadas se cubrirá mediante la utilización de redes de horca (o de bandeja).

#### Montaje de prefabricados.

El riesgo de caída desde altura, se evitará realizando los trabajos de recepción e instalación del prefabricado desde el interior de una plataforma de trabajo rodeada de barandillas de 90 cm., de

altura, formadas por pasamanos, listón intermedio y rodapié de 15 cm., sobre andamios (metálicos, tubulares de borriquetas).

Se prohíbe trabajar o permanecer en lugares de tránsito de piezas suspendidas en prevención del riesgo de desplome.

Los prefabricados se acopiarán en posición horizontal sobre durmientes dispuestos por capas de tal forma que no dañen los elementos de enganche para su izado.

Se paralizará la labor de instalación de los prefabricados bajo régimen de vientos superiores a 60 Km/h.

#### Albañilería.

Los grandes huecos (patios) se cubrirán con una red horizontal instalada alternativamente cada dos plantas, para la prevención de caídas.

Se prohíbe concentrar las cargas de ladrillos sobre vanos. El acopio de pallets, se realizará próximo a cada pilar, para evitar las sobrecargas de la estructura en los lugares de menor resistencia.

Los escombros y cascotes se evacuarán diariamente mediante trompas de vertido montadas al efecto, para evitar el riesgo de pisadas sobre materiales.

Las rampas de las escaleras estarán protegidas en su entorno por una barandilla sólida de 90 cm. de altura, formada por pasamanos, listón intermedio y rodapié de 15 cm.

#### Cubiertas.

El riesgo de caída al vacío, se controlará instalando redes de horca alrededor del edificio. No se permiten caídas sobre red superiores a los 6 m. de altura.

Se paralizarán los trabajos sobre las cubiertas bajo régimen de vientos superiores a 60 km/h., lluvia, helada y nieve.

Alicatados.

El corte de las plaquetas y demás piezas cerámicas, se ejecutará en vía húmeda, para evitar la formación de polvo ambiental durante el trabajo.

El corte de las plaquetas y demás piezas cerámicas se ejecutará en locales abiertos o a la intemperie, para evitar respirar aire con gran cantidad de polvo.

#### Enfoscados y enlucidos.

Las "miras", reglas, tablonces, etc., se cargarán a hombro en su caso, de tal forma que al caminar, el extremo que va por delante, se encuentre por encima de la altura del casco de quién lo transporta, para evitar los golpes a otros operarios, los tropezones entre obstáculos, etc.

Se acordonará la zona en la que pueda caer piedra durante las operaciones de proyección de "garbancillo" sobre morteros, mediante cinta de banderolas y letreros de prohibido el paso.

#### Solados con mármoles, terrazos, plaquetas y asimilables.

El corte de piezas de pavimento se ejecutará en vía húmeda, en evitación de lesiones por trabajar en atmósferas pulverulentas.

Las piezas del pavimento se izarán a las plantas sobre plataformas emplintadas, correctamente apiladas dentro de las cajas de suministro, que no se romperán hasta la hora de utilizar su contenido.

Los lodos producto de los pulidos, serán orillados siempre hacia zonas no de paso y eliminados inmediatamente de la planta.

#### Carpintería de madera, metálica y cerrajería.

Los recortes de madera y metálicos, objetos punzantes, cascotes y serrín producidos durante los ajustes se recogerán y se eliminarán mediante las tolvas de vertido, o mediante bateas o plataformas emplintadas amarradas del gancho de la grúa.

Los cercos serán recibidos por un mínimo de una cuadrilla, en evitación de golpes, caídas y vuelcos.

Los listones horizontales inferiores contra deformaciones, se instalarán a una altura en torno a los 60 cm. Se ejecutarán en madera blanca, preferentemente, para hacerlos más visibles y evitar los accidentes por tropiezos.

El "cuelgue" de hojas de puertas o de ventanas, se efectuará por un mínimo de dos operarios, para evitar accidentes por desequilibrio, vuelco, golpes y caídas.

#### Montaje de vidrio.

Se prohíbe permanecer o trabajar en la vertical de un tajo de instalación de vidrio.

Los tajos se mantendrán libres de fragmentos de vidrio, para evitar el riesgo de cortes.

La manipulación de las planchas de vidrio, se ejecutará con la ayuda de ventosas de seguridad.

Los vidrios ya instalados, se pintarán de inmediato a base de pintura a la cal, para significar su existencia.

#### Pintura y barnizados.

Se prohíbe almacenar pinturas susceptibles de emanar vapores inflamables con los recipientes mal o incompletamente cerrados, para evitar accidentes por generación de atmósferas tóxicas o explosivas.

Se prohíbe realizar trabajos de soldadura y oxicorte en lugares próximos a los tajos en los que se empleen pinturas inflamables, para evitar el riesgo de explosión o de incendio.

Se tenderán redes horizontales sujetas a puntos firmes de la estructura, para evitar el riesgo de caída desde alturas.

Se prohíbe la conexión de aparatos de carga accionados eléctricamente (puentes grúa por ejemplo) durante las operaciones de pintura de carriles, soportes, topes, barandillas, etc., en prevención de atrapamientos o caídas desde altura.

Se prohíbe realizar "pruebas de funcionamiento" en las instalaciones, tuberías de presión, equipos motobombas, calderas, conductos, etc. durante los trabajos de pintura de señalización o de protección de conductos.

#### Instalación eléctrica provisional de obra.

El montaje de aparatos eléctricos será ejecutado por personal especialista, en prevención de los riesgos por montajes incorrectos.

El calibre o sección del cableado será siempre el adecuado para la carga eléctrica que ha de soportar.

Los hilos tendrán la funda protectora aislante sin defectos apreciables (rasgones, repelones y asimilables). No se admitirán tramos defectuosos.

La distribución general desde el cuadro general de obra a los cuadros secundarios o de planta, se efectuará mediante manguera eléctrica antihumedad.

El tendido de los cables y mangueras, se efectuará a una altura mínima de 2 m. en los lugares peatonales y de 5 m. en los de vehículos, medidos sobre el nivel del pavimento.

Los empalmes provisionales entre mangueras, se ejecutarán mediante conexiones normalizadas estancas antihumedad.

Las mangueras de "alargadera" por ser provisionales y de corta estancia pueden llevarse tendidas por el suelo, pero arrimadas a los paramentos verticales.

Los interruptores se instalarán en el interior de cajas normalizadas, provistas de puerta de entrada con cerradura de seguridad.

Los cuadros eléctricos metálicos tendrán la carcasa conectada a tierra.

Los cuadros eléctricos se colgarán pendientes de tableros de madera recibidos a los paramentos verticales o bien a "pies derechos" firmes.

Las maniobras a ejecutar en el cuadro eléctrico general se efectuarán subido a una banqueta de maniobra o alfombrilla aislante.

Los cuadros eléctricos poseerán tomas de corriente para conexiones normalizadas blindadas para intemperie.

La tensión siempre estará en la clavija "hembra", nunca en la "macho", para evitar los contactos eléctricos directos.

Los interruptores diferenciales se instalarán de acuerdo con las siguientes sensibilidades:

- ❖ 300 mA. Alimentación a la maquinaria.
- ❖ 30 mA. Alimentación a la maquinaria como mejora del nivel de seguridad.
- ❖ 30 mA. Para las instalaciones eléctricas de alumbrado.

Las partes metálicas de todo equipo eléctrico dispondrán de toma de tierra.

El neutro de la instalación estará puesto a tierra.

La toma de tierra se efectuará a través de la pica o placa de cada cuadro general.

El hilo de toma de tierra, siempre estará protegido con macarrón en colores amarillo y verde. Se prohíbe expresamente utilizarlo para otros usos.

La iluminación mediante portátiles cumplirá la siguiente norma:

- ❖ Portalámparas estanco de seguridad con mango aislante, rejilla protectora de la bombilla dotada de gancho de cuelgue a la pared, manguera antihumedad, clavija de conexión normalizada estanca de seguridad, alimentados a 24 V.
- ❖ La iluminación de los tajos se situará a una altura en torno a los 2 m., medidos desde la superficie de apoyo de los operarios en el puesto de trabajo.

- ✧ La iluminación de los tajos, siempre que sea posible, se efectuará cruzada con el fin de disminuir sombras.
- ✧ Las zonas de paso de la obra, estarán permanentemente iluminadas evitando rincones oscuros.

No se permitirá las conexiones a tierra a través de conducciones de agua.

No se permitirá el tránsito de carretillas y personas sobre mangueras eléctricas, pueden pelarse y producir accidentes.

No se permitirá el tránsito bajo líneas eléctricas de las compañías con elementos longitudinales transportados a hombro (pértigas, reglas, escaleras de mano y asimilables). La inclinación de la pieza puede llegar a producir el contacto eléctrico.

#### Instalación de fontanería, aparatos sanitarios, calefacción y aire acondicionado.

El transporte de tramos de tubería a hombro por un solo hombre, se realizará inclinando la carga hacia atrás, de tal forma que el extremo que va por delante supere la altura de un hombre, en evitación de golpes y tropiezos con otros operarios en lugares poco iluminados o iluminados a contra luz.

Se prohíbe el uso de mecheros y sopletes junto a materiales inflamables.

Se prohíbe soldar con plomo, en lugares cerrados, para evitar trabajos en atmósferas tóxicas.

#### Instalación de antenas y pararrayos.

Bajo condiciones meteorológicas extremas, lluvia, nieve, hielo o fuerte viento, se suspenderán los trabajos.

Se prohíbe expresamente instalar pararrayos y antenas a la vista de nubes de tormenta próximas.

Las antenas y pararrayos se instalarán con ayuda de la plataforma horizontal, apoyada sobre las cuñas en pendiente de encaje en la cubierta, rodeada de barandilla sólida de 90 cm. de altura, formada por pasamanos, barra intermedia y rodapié, dispuesta según detalle de planos.

Las escaleras de mano, pese a que se utilicen de forma "momentánea", se anclarán firmemente al apoyo superior, y estarán dotados de zapatas antideslizantes, y sobrepasarán en 1 m. la altura a salvar.

Las líneas eléctricas próximas al tajo, se dejarán sin servicio durante la duración de los trabajos.

### **5.3. Disposiciones específicas de seguridad y salud durante la ejecución de las obras.**

Cuando en la ejecución de la obra intervenga más de una empresa, o una empresa y trabajadores autónomos o diversos trabajadores autónomos, el promotor designará un *coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra*, que será un técnico competente integrado en la dirección facultativa.

Cuando no sea necesaria la designación de coordinador, las funciones de éste serán asumidas por la dirección facultativa.

En aplicación del estudio básico de seguridad y salud, cada contratista elaborará un *plan de seguridad y salud en el trabajo* en el que se analicen, estudien, desarrollen y complementen las previsiones contenidas en el estudio desarrollado en el proyecto, en función de su propio sistema de ejecución de la obra.

Antes del comienzo de los trabajos, el promotor deberá efectuar un *aviso* a la autoridad laboral competente.

## 6. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

### 6.1. Introducción.

La ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo.

Así son las *normas de desarrollo reglamentario* las que deben fijar las medidas mínimas que deben adoptarse para la adecuada protección de los trabajadores. Entre ellas se encuentran las destinadas a garantizar *la utilización por los trabajadores en el trabajo de equipos de protección individual* que los protejan adecuadamente de aquellos riesgos para su salud o su seguridad que *no puedan evitarse o limitarse* suficientemente mediante la utilización de medios de protección colectiva o la adopción de medidas de organización en el trabajo.

### 6.2. Obligaciones generales del empresario.

Hará obligatorio el uso de los equipos de protección individual que a continuación se desarrollan.

#### 6.2.1. Protectores de la cabeza.

- ✧ Cascos de seguridad, no metálicos, clase N, aislados para baja tensión, con el fin de proteger a los trabajadores de los posibles choques, impactos y contactos eléctricos.
- ✧ Protectores auditivos acoplables a los cascos de protección.
- ✧ Gafas de montura universal contra impactos y anti-polvo.
- ✧ Mascarilla anti-polvo con filtros protectores.
- ✧ Pantalla de protección para soldadura autógena y eléctrica.

### 6.2.2. Protectores de manos y brazos.

- ✧ Guantes contra las agresiones mecánicas (perforaciones, cortes, vibraciones).
- ✧ Guantes de goma finos, para operarios que trabajen con hormigón.
- ✧ Guantes dieléctricos para B.T.
- ✧ Guantes de soldador.
- ✧ Muñequeras.
- ✧ Mango aislante de protección en las herramientas.

### 6.2.3. Protectores de pies y piernas.

- ✧ Calzado provisto de suela y puntera de seguridad contra las agresiones mecánicas.
- ✧ Botas dieléctricas para B.T.
- ✧ Botas de protección impermeables.
- ✧ Polainas de soldador.
- ✧ Rodilleras.

### 6.2.4. Protectores del cuerpo.

- ✧ Crema de protección y pomadas.
- ✧ Chalecos, chaquetas y mandiles de cuero para protección de las agresiones mecánicas.
- ✧ Traje impermeable de trabajo.
- ✧ Cinturón de seguridad, de sujeción y caída, clase A.
- ✧ Fajas y cinturones anti-vibraciones.
- ✧ Pértiga de B.T.
- ✧ Banqueta aislante clase I para maniobra de B.T.
- ✧ Linterna individual de situación.
- ✧ Comprobador de tensión



### 6.2.5. Equipos adicionales de protección para trabajos en la proximidad de instalaciones eléctricas de alta tensión

- ✧ Casco de protección aislante clase E-AT.
- ✧ Guantes aislantes clase IV.
- ✧ Banqueta aislante de maniobra clase II-B o alfombra aislante para A.T.
- ✧ Pértiga detectora de tensión (salvamento y maniobra).
- ✧ Traje de protección de menos de 3 kg, bien ajustado al cuerpo y sin piezas descubiertas eléctricamente conductoras de la electricidad.
- ✧ Gafas de protección.
- ✧ Insuflador boca a boca. • Tierra auxiliar.
- ✧ Esquema unifilar.
- ✧ Placa de primeros auxilios.
- ✧ Placas de peligro de muerte y E.T.