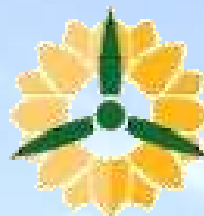


CEAR



DOCUMENTO 5

ANEXOS

Subestación Eléctrica Rueda Este
220/30 kV

TTMM Épila (Zaragoza)

Realización:



SISENER
INGENIEROS, S.L.

Octubre 2022



COLECCIÓN DE PERITOS INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245
<http://collaragon.e-visado.net/validarCSV.aspx?CSV=GVIBEH154RZRK5>

31/10
2022

Habilitación Coleg. 6734 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

ANEXOS

ANEXO 1: CÁLCULO DE CONDUCTORES Y EMBARRADOS

ANEXO 2: DISTANCIAS ELÉCTRICAS

ANEXO 3: RED INFERIOR DE PUESTA A TIERRA

ANEXO 4: ESTUDIO DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

	
COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE ARAGÓN VISADO : VIZA229245 http://collaragon.e-visado.net/validarCSV.aspx?CSV=GVIBEH154RZRK5	
31/10 2022	Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa) Profesional SANZ OSORIO, JAVIER



ANEXO 1
CÁLCULO DE EMBARRADOS Y
CONDUCTORES
EDICION 00

Subestación Eléctrica Rueda Este
220/30 kV

Realizado por:





Octubre 2022




COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VÍDEO: 0727020240
<http://coitaraion.evisado.net/ValliderCSV.aspx?CSV=AGVIBEH154RZRK5>



10/22
Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022 Rev.: 00	ANEXO 1: CÁLCULO DE CONDUCTORES	Nº DOC.: 005 Anexo 1 - Cálculo de conductores.docx

CONTENIDO

1.	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS SET 220/30 KV	
1.1.	INTENSIDADES NOMINALES	
1.1.1.	INTENSIDAD LADO 220 KV TR1 Y TR2	
1.1.2.	INTENSIDAD LADO 30 KV TR1 Y TR2	
2.	CÁLCULO DE CONDUCTORES.....	
2.1.	INTERCONEXIÓN APARAMENTA INTEMPERIE 220 KV	
2.2.	EMBARRADO 30 kV	
2.3.	INTERCONEXIÓN CELDAS 30 KV – TRANSFORMADORES DE POTENCIA	
2.4.	INTERCONEXIÓN CELDAS 30 KV – TRANSFORMADORES DE SERVICIOS AUXILIARES	


COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245
<http://registroingenieros.org/visado/ver/ver?id=VIZA229245>
31/10
2022
Habilitación Profesional
Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 1: CÁLCULO DE CONDUCTORES	Nº DOC.: 005 Anexo 1 - Cálculo de conductores.docx
Rev.: 00		

1. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS SET 220/30 KV

1.1. INTENSIDADES NOMINALES

1.1.1. INTENSIDAD LADO 220 KV TR1 Y TR2

La intensidad primaria en un transformador trifásico 220/30 kV viene dada por la expresión:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3}V_p} (A)$$

Donde:

- S: potencia del transformador en kVA.
- Vp: tensión primaria en kV.
- Ip: intensidad primaria en A.

En el caso que nos ocupa, la tensión primaria de alimentación es 220 kV y puesto que la potencia del transformador es de 80 MVA, se tiene:

$$I_{P1} = \frac{80.000}{\sqrt{3} * 220} = 209,95 (A)$$

Considerando una sobrecarga del 10% la intensidad máxima primaria esperada es

$$I_{P1m\acute{a}x} = 230,95 A$$

1.1.2. INTENSIDAD LADO 30 KV TR1 Y TR2

La intensidad secundaria en un transformador trifásico 220/30 kV viene dada por la expresión:

$$I_s = \frac{S}{\sqrt{3}V_s} (A)$$

Donde:


- S: potencia del transformador en kVA.
- Vs: tensión secundaria en kV.
- Is: intensidad secundaria en A.

En el caso que nos ocupa, la tensión secundaria de alimentación es 30 kV, para el transformador de 80 MVA, se tiene:

$$I_{S1} = \frac{80.000}{\sqrt{3} * 30} = 1.539,60 (A)$$

Considerando una sobrecarga del 10% la intensidad máxima secundaria esperada es de:



$$I_{S1m\acute{a}x} = 1693,56 A$$



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245
<http://collaragon.evisado.net/validarCSV.aspx?CSV=1001BEN154RZRK5>

31/10
2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 1: CÁLCULO DE CONDUCTORES	Nº DOC.: 005 Anexo 1 - Cálculo de conductores.docx
Rev.: 00		

2. CÁLCULO DE CONDUCTORES

A continuación, se incluyen los cálculos justificativos de los conductores utilizados, según los criterios siguientes:

- Intensidad máxima admisible.
- Intensidad de cortocircuito máxima admisible.

2.1. INTERCONEXIÓN APARAMENTA INTEMPERIE 220 KV

El conductor seleccionado para realizar la conexión entre el pórtico de la aparamenta 220 kV será un conductor 242-AL1/39-ST1A (LA 280 Hawk) dúplex por fase.

1. Intensidad máxima admisible

Para el dimensionamiento de los conductores, se considera la situación de máxima intensidad. Esta situación corresponde a los transformadores a plena carga, por lo que la intensidad máxima circulante por el lado de 220 kV será:

$$I_{total} = I_{TR1} = 230,95 \text{ A}$$

La intensidad máxima admisible que puede transportar el cable según el Reglamento de Alta Tensión se calcula mediante la expresión:

$$I_{ADM} = D \cdot S \cdot K$$

Siendo:


- D = es la densidad de corriente reglamentaria admisible según la sección del cable en A/mm²
- S = sección del conductor en mm²
- K= es un coeficiente que depende de la composición del cable

En nuestro caso tenemos que:

- D = 2,06 A/mm²
- S = 281,1 mm²
- K = 0,937 (correspondiente a la composición 26+7)

Por lo tanto:

$$I_{m\acute{a}x} = 542,58 \text{ A, al ser cable duplex } 1.085,16 \text{ A}$$





COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE ARAGÓN

VISADO : VIZA229245

<http://collaragon.es/usuario/revivir/validarCSV.aspx?CSV=43VIBEL154RZRK5>

31/10 2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa) Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 1: CÁLCULO DE CONDUCTORES	Nº DOC.: 005 Anexo 1 - Cálculo de conductores.docx
Rev.: 00		

Por lo tanto, al ser la intensidad máxima admisible que puede circular por el cable superior a la corriente máxima de la instalación, el conductor es válido según este criterio.

2. Intensidad de cortocircuito máxima admisible

La máxima corriente de cortocircuito admisible por el cable se calcula mediante la expresión:

$$I_{cc} = \frac{K \cdot S}{\sqrt{t}} [kA]$$

Siendo:

- K: coeficiente dependiente del tipo de conductor, 93 para Aluminio
- S: sección del conductor en mm²
- T: duración del cortocircuito en segundos

Para un conductor de aluminio, y una sección de 381,0 mm², la intensidad máxima que puede circular por 242-AL 1/39-ST1A (LA 280 Hawk) dúplex durante 0,5 segundos es de:

$$I_{cc} = 36,97 \text{ kA, al ser cable duplex } I_{cc} = 73,94 \text{ kA}$$

Se obtiene una intensidad de cortocircuito superior a 40 kA, corriente de diseño del sistema de 220 kV.





COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN

VISADO : VIZA229245

<http://collaragon.evisado.net/validarCSV.aspx?CSV=AGVIBIA00154RZRK5>

31/10/2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 1: CÁLCULO DE CONDUCTORES	Nº DOC.: 005 Anexo 1 - Cálculo de conductores.docx
Rev.: 00		

3. Efecto Corona

Para la propuesta efectuada en este documento, se va a calcular la tensión crítica disruptiva según la fórmula de Peek:

$$U_c = \frac{29,8}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{3} \cdot m_c \cdot \delta \cdot m_t \cdot r \cdot \ln \frac{D}{r}$$

Dónde:

U_c = tensión crítica disruptiva de línea.

m_c = coeficiente de rugosidad del conductor.

m_t = coeficiente meteorológico

r = radio del conductor en cm.

D = distancia media geométrica entre fases en cm.

δ = factor de corrección de la densidad del aire en función de la altura.

Para el caso que nos ocupa, obtenemos los siguientes valores:

m_c = 0,86 (para cables)

m_t = 1 (tiempo seco) ó 0,8 (tiempo húmedo)

r = 1,09 cm (conductor 242-AL1/39-ST1A.)

D = 440,97 cm (según disposición de conductores en parque)

δ = 0,911 para una altura de 1255 m.s.n.m. y una temperatura de 15 °C.

Sustituyendo en la expresión anterior obtenemos:


$$U_{c-seco} = 600,13 \text{ kV}$$

$$U_{c-humedo} = 480,10 \text{ kV}$$

Superior a la tensión más elevada para el material U_m = 245 kV correspondiente al nivel de tensión nominal de 220 kV.

Esto asegurará que, en ambas situaciones estudiadas (tiempo seco y tiempo húmedo):

- Las pérdidas por efecto corona en los conductores sean reducidas.
- El nivel de interferencias electromagnéticas producidas por los efluvios se mantenga en unos niveles reducidos.





COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE ARAGÓN

VISADO : VIZA229245

<http://collaragon.evisado.net/validarCSV.aspx?CSV=AGVIBEH154RZRK5>

31/10
2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 1: CÁLCULO DE CONDUCTORES	Nº DOC.: 005 Anexo 1 - Cálculo de conductores.docx
Rev.: 00		

2.2. EMBARRADO 30 kV

Las salidas del lado de 30 kV de los transformadores, para su correcto funcionamiento se llevarán a cabo a través de los siguientes cables o conductores:

- Tubo de Al 120/104 mm: Salida del transformador de 80 MVA a las que se conectarán el embarrado de la reactancia y los conductores media tensión.

1. Intensidad máxima admisible

Se considera la situación de máxima intensidad. Esta situación corresponde a la del transformador de 80 MVA a plena carga, por lo que la intensidad máxima circulante por el lado de 30 kV será:

$$I_{max} = 1.693,56 \text{ A}$$

Establecemos un factor de corrección por Temperatura de 0,84 para una temperatura de servicio de 90 °C y temperatura ambiente hasta de 55°C.

Además, por exposición continua al sol consideramos un factor de 0,90.

Todo ello supone un factor general de 0,756.

La intensidad máxima admisible en régimen permanente, para el tubo de aluminio, instalado al aire, es:

$$I_{ADM} = 0,756 \times 2.657 \text{ A} = 2.008,69 \text{ A}$$

Por lo tanto, al ser la intensidad máxima admisible que puede circular por el tubo superior a la corriente máxima de la instalación, el conductor es válido según este criterio.

2. Intensidad de cortocircuito admisible

La intensidad máxima que puede circular por los conductores se obtiene de la siguiente expresión:

$$I_{cc} = \frac{K \cdot S}{\sqrt{t}} \text{ (A)}$$

Siendo:

K: coeficiente dependiente del tipo de conductor, 93 para Aluminio

S: sección del conductor en mm²

T: duración del cortocircuito en segundos

Para un tubo de aluminio, y una sección de 2.815 mm², la intensidad máxima que puede circular por el tubo durante 1 segundo es de:

$$I_{cc} = 261,79 \text{ kA (Superior a 19,73 kA, corriente de diseño del sistema de 30 kV.)}$$





COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE ARAGÓN

VISADO : VIZA229245

<http://collaragon.es/verif/verif.asp?cs=VAGVIBEH154RZRK5>

31/10/2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa) Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 1: CÁLCULO DE CONDUCTORES	Nº DOC.: 005 Anexo 1 - Cálculo de conductores.docx
Rev.: 00		

2.3. INTERCONEXIÓN CELDAS 30 KV – TRANSFORMADORES DE POTENCIA

Para la interconexión entre el embarrado del lado 30 kV del transformador de potencia de 80 MVA y las celdas de protección de transformador, se proyectan tres ternas de cable aislado unipolar tipo RHZ1 18/30 kV de 630 mm² de Aluminio.

Embarrado 1:

1. Intensidad máxima admisible

Para el transformador de potencia de 80 MVA, a plena carga, la intensidad máxima circulante por el lado de 30 kV será:

$$I_{max} = 1.693,56 \text{ A}$$

La intensidad máxima admisible para los conductores debe ser corregida por las condiciones de instalación.

El factor de reducción por temperatura, considerados discurriendo al aire bajo canal es de 0,9

El factor de corrección por agrupamiento como consecuencia de discurrir dos ternas por el canal es de 0,98, por lo tanto, la intensidad admisible para 2 ternas será:

$$\text{RHZ1 18/30kV } 3 \times (3 \times 1 \times 630) \text{ mm}^2 \text{ Al} \quad I_{ADM} = 830 \times 3 \times 0,9 \times 0,98 = 2.196,18 \text{ A}$$

Por lo tanto, al ser la intensidad máxima admisible que puede circular por las ternas, superior a la corriente máxima de la instalación, el conductor es válido según este criterio.

2. Intensidad de cortocircuito admisible

La intensidad máxima que puede circular por los conductores se obtiene de la siguiente expresión:

$$I_{cc} = \frac{K \cdot S}{\sqrt{t}} \text{ (A)}$$

Siendo:



- K = coeficiente dependiente del tipo de conductor 93 para Aluminio
- S = sección del conductor en mm²
- T = duración del cortocircuito en segundos

Para un conductor de aluminio, y una sección de 630 mm², la intensidad máxima que puede circular por los cables durante 0,5 segundos es de:

$$I_{cc} = 84,70 \text{ kA}$$

Superior a 25 kA, corriente de diseño del sistema de 30 kV.



	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 1: CÁLCULO DE CONDUCTORES	Nº DOC.: 005 Anexo 1 - Cálculo de conductores.docx
Rev.: 00		

2.4. INTERCONEXIÓN CELDAS 30 KV – TRANSFORMADORES DE SERVICIOS AUXILIARES

La interconexión entre las celdas de 30 kV y los transformadores de servicios auxiliares de 100 kVA se realiza a través de una terna de cable aislado RHZ1 18/30 kV 3x1x95 mm² Al por fase.

1. Intensidad máxima admisible

Con una sobrecarga del 10% y para el transformador de servicios auxiliares de 100 kVA, la intensidad máxima circulante por los cables de 30 kV anteriormente citados es de:

$$I_{MAX} = 2,12 \text{ A}$$

La intensidad máxima admisible para los conductores, considerados instalados al aire es de:

$$\text{RHZ1 18/30 kV 3x1x95 mm}^2 \text{ Al} \quad I_{ADM} = 255 \text{ A}$$

Por lo tanto, al ser la intensidad máxima admisible que puede circular por las ternas superior a la corriente máxima de la instalación, el conductor es válido según este criterio.

2. Intensidad de cortocircuito admisible

La intensidad máxima que puede circular por los conductores se obtiene según la expresión enunciada en apartados anteriores.

Para un conductor de aluminio, y una sección de 1x95 mm², la intensidad máxima que puede circular por los cables durante 1 segundo es de:

$$I_{cc} = 8,84 \text{ kA}$$

El conductor y el transformador se encuentran protegidos por un fusible de Alto Poder de Ruptura, de 10 A de intensidad nominal.

Según las curvas de los fabricantes, para que el fusible actúe en un tiempo inferior a 1 segundo, la corriente debe ser superior a 45 A.

Por lo tanto, dado que el fusible actúa con una intensidad muy inferior a la admisible por el conductor, éste se encuentra protegido en cualquier situación.



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE ARAGÓN

VISADO : VIZA229245

<http://coltaracon.evisado.net/validarCSV.asp?CSV=AGVIBEH154RZRK5>

31/10 2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa) Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

CEAR



ANEXO 2 DISTANCIAS ELÉCTRICAS EDICIÓN 00

Subestación Eléctrica Rueda Este 220/30 kV

Realizado por:





Octubre 2022




COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
<http://coitiaragon.es/visado-nei/validarCSV.aspx?CSV=AGVIBEH154RZRK5>

10/22
Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 2: DISTANCIAS ELÉCTRICAS	Nº DOC.: 006 Anexo 2 - Distancias eléctricas.docx
Rev.: 00		

CONTENIDO



1.	INTRODUCCION.....	3
2.	NORMATIVA APLICABLE.....	4
3.	AISLAMIENTO Y SU COORDINACIÓN.....	5
3.1.	Distancias mínimas reglamentarias	5
3.2.	Distancia a elementos en tensión	5



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245
<http://coltaraagon.es/cedado-nei/valliderCSV.aspx?CSV=AGVIBEH154RZRK5>


31/10
2022



Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 2: DISTANCIAS ELÉCTRICAS	Nº DOC.: 006 Anexo 2 - Distancias eléctricas.docx
Rev.: 00		


1. INTRODUCCION



En este documento se muestra la metodología, los datos y los resultados del estudio de coordinación de aislamiento, para determinar las distancias mínimas y el nivel de aislamiento de los equipos en la Subestación Rueda Este 220/30 kV, que forma parte del presente documento.

	COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE ARAGÓN VISADO : VIZA229245 http://collaragon.e-visado.net/validarCSV.aspx?CSV=GVIBEH154RZRK5
31/10 2022	
Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa) Profesional SANZ OSORIO, JAVIER	

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 2: DISTANCIAS ELÉCTRICAS	Nº DOC.: 006 Anexo 2 - Distancias eléctricas.docx
Rev.: 00		

2. NORMATIVA APLICABLE

R.D. 1110/2007	Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico español.	 COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE ARAGÓN VIZARDO - VIZARDO 2015 http://collaragon.evisado.net/vallider.aspx?CSV=GVIBEH154RZRK5
IEC 60815-3	Selección y dimensionamiento de aisladores de alta tensión destinados para su utilización en condiciones de contaminación Procedimientos de operación de Red Eléctrica de España.	
R.D. 337/2014	Reglamento de Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de transformación	
IEEE	Normativa Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.	
		31/10 2022
		Habilitación Profesional Coleg. 6134 (al servicio de la empresa) SANZ OSORIO, JAVIER


	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 2: DISTANCIAS ELÉCTRICAS	Nº DOC.: 006 Anexo 2 - Distancias eléctricas.docx
Rev.: 00		

3. AISLAMIENTO Y SU COORDINACIÓN

En la siguiente tabla se presentan los parámetros generales para los niveles de tensión de 220 kV y 30 kV de la Subestación.

Nivel de tensión	30 kV	220 kV
Tensión nominal (kV ef.) (ITC- 4)	30	220
Frecuencias nominal (Hz)	50	50
Nivel de contaminación ambiental (IEC 60815)	Muy Alto	Alto
Distancia de fuga específica (mm/kV) (IEC 60815)	31	25
Tensión más elevada para el material (kV ef.) (ITC- 12)	36	245
Tensión soportada impulso tipo rayo (kV cresta) (ITC- 12)	70	1050
Tensión soportada a frec. ind. (1 min. 50 Hz) (ITC-12)	170	460
Tipo de PAT del sistema eléctrico	Triangulo A tierra a través de reactancia	Estrella Directo a tierra



Tabla 1: Parámetros generales.



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245
<http://colleiaragon.es/validarCSV.aspx?CSV=4GVBEH1S4BZBK5>

31/10
2022

Habilitación Profesional
Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 2: DISTANCIAS ELÉCTRICAS	Nº DOC.: 006 Anexo 2 - Distancias eléctricas.docx
Rev.: 00		

3.1. Distancias mínimas reglamentarias

Las distancias mínimas reglamentarias aplicables a la instalación proyectada serán las siguientes:

Distancia mínima entre fases en el aire

Según la tabla 5 de la ITC RAT 12 del decreto RD 337/2014 y para una altura menor a 1.000 m:

Nivel de tensión (kV)	Tensión soportada nominal a impulsos tipo rayo (kV cresta)	Distancia mínima (cm)
30	170	32
220	1050	210

Tabla 2: Tabla 5 de la ITC-RAT12. Distancias mínimas entre fases en el aire.

Distancia mínima entre fase y tierra en el aire

Según la tabla 4 y 6 de la ITC RAT 12 del decreto RD 337/2014 y para una altura menor a 1.000 m:

Nivel de tensión (kV)	Tensión soportada nominal a impulsos tipo rayo (kV cresta)	Distancia mínima (cm)
30	170	32
220	1050	210

Tabla 3: Tabla 6 de la ITC-RAT12. Distancias mínimas entre fase y tierra en el aire.

3.2. Distancia a elementos en tensión



Según el apartado 3 de la ITC RAT15 del decreto RD 337/2014:



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245
<http://collaragon.e-visado.net/validarCSV.aspx?CSV=AGVIBEH154RZRK5>

31/10
2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 2: DISTANCIAS ELÉCTRICAS	Nº DOC.: 006 Anexo 2 - Distancias eléctricas.docx
Rev.: 00		

Pasillos de servicio

Los elementos en tensión no protegidos que se encuentren sobre los pasillos, deberán estar a una altura mínima:

$$H = 250 + d$$

Siendo:

H = altura mínima desde el suelo en cm.

d = distancia en cm de la tabla 4 de la ITC RAT 12, dada en función de la tensión soportada nominal a impulsos tipo rayo adoptada por la instalación.

Nivel de tensión	d (cm)	H (cm)
30	32	282
220	210	460

Tabla 4: Pasillos de servicio.

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

De los elementos en tensión a paredes macizas de 180 cm. de altura mínima:

$$B = d + 3$$

De los elementos en tensión a enrejados de 180 cm. de altura mínima:

$$C = d + 10$$


De los elementos en tensión a cierres de cualquier tipo:



$$E = d + 30 \text{ (} E_{\min}=125 \text{ cm)}$$

Siendo d la distancia definida en el apartado anterior se obtienen los siguientes valores:

Nivel de tensión	d (cm)	B (cm)	C (cm)	E (cm)
30	32	35	42	125
220	210	213	220	240

Tabla 5: Distancias de protección contra contactos en el interior.


COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245
<http://collaragon.evisado.net/validarCSV.aspx?CSV=AGVIBEH154RZRK5>
31/10
2022
Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 2: DISTANCIAS ELÉCTRICAS	Nº DOC.: 006 Anexo 2 - Distancias eléctricas.docx
Rev.: 00		


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

De elementos en tensión al cierre cuando éste es un enrejado de cualquier altura mayor o igual a 220 cm.

$$G = d + 150$$

Nivel de tensión	G (cm)
30 kV	182
220 kV	360

Tabla 6: Distancias de protección contra contactos en el exterior.

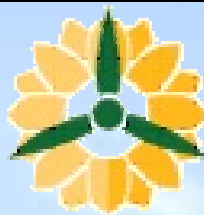


COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245
<http://collaragon.e-visado.net/validarCSV.aspx?CSV=GVIBEH154RZRK5>

31/10
2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

CEAR



ANEXO 3 CÁLCULO RED INFERIOR DE PUESTA A TIERRA EDICION 00

Subestación Eléctrica Rueda Este 220/30 kV

Realizado por:





Octubre 2022



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245


8/10
2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional: SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 3: RED INFERIOR DE PUESTA A TIERRA	Nº DOC.: 007 Anexo 3 - Red de puesta a tierra.doc
Rev.: 00		

CONTENIDO



1.	OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO	3
1.1.	DATOS DE DISEÑO	4
1.2.	PARÁMETROS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	4
1.3.	CÁLCULOS DEL CALENTAMIENTO DEL CONDUCTOR.....	8
1.4.	VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	9
1.5.	CÁLCULOS ADICIONALES: RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA.....	10
1.6.	FALTAS A TIERRA EN EL LADO DE MEDIA TENSIÓN	10
1.7.	CONCLUSIONES ANÁLISIS MALLA DE PUESTA A TIERRA	11



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245
http://collateralrae.es/validador.aspx?CodigoVibem=0172RK5

31/10
2022

Habilitación Profesional Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 3: RED INFERIOR DE PUESTA A TIERRA	Nº DOC.: 007 Anexo 3 - Red de puesta a tierra.doc
Rev.: 00		

1. OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO

Se redacta el presente documento con el objeto de describir los cálculos que se han realizado para justificar la validez de la malla de tierras que se instalará en la Subestación Eléctrica Rueda Este 220/30 kV.

Los cálculos justificativos estarán basados en el documento ITC-RAT 13 de Instalaciones de puesta a tierra según el Real Decreto 337/2014 de 9 de Mayo del Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.


De los datos estimados, se considera que la resistividad del terreno es de 120 Ω .m.



Con el fin de conseguir niveles admisibles de las tensiones de paso y contacto, la subestación estará dotada de una malla de tierras inferiores formada por cable de cobre desnudo de 120 mm² de sección enterrado a 0,6 m de la cota de explanación, formando retículas aproximadas de 6,27 x 6,42 m.

Se conectarán a las tierras de protección todas las partes metálicas no sometidas a tensión normalmente, pero que pudieran estarlo como consecuencia de averías, sobretensiones por descarga atmosféricas o tensiones inductivas. Por este motivo, se unirán a la malla: estructuras metálicas, bases de aparellaje, neutros de transformadores de potencia, reactancias, etc.

Estas conexiones se fijarán a la estructura y carcasas del aparellaje mediante tornillos y grapas especiales, que aseguren la permanencia de la unión, haciendo uso de soldaduras Cadweld de alto poder de fusión, para las uniones bajo tierra, ya que sus propiedades son altamente resistentes a la corrosión galvánica.

Será necesario realizar el dimensionamiento de la red de tierras desde el punto de vista térmico con el fin de determinar la sección de los conductores de tierra y desde el punto de vista de la elevación de tensión en el terreno.

	COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245 http://collarag.es/validar.asp?CSV=60BEB154RZRK5	
31/10 2022	Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa) Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 3: RED INFERIOR DE PUESTA A TIERRA	Nº DOC.: 007 Anexo 3 - Red de puesta a tierra.doc
Rev.: 00		

1.1. DATOS DE DISEÑO

- Tensión nominal de la Subestación	220/30 kV
- (ρ) Resistividad media del terreno	120 ($\Omega \cdot m$)
- (ρ_s) Resistividad del terreno en capa superficial.....	3.000 ($\Omega \cdot m$)
- Espesor de la capa superficial (gravas)	0,10 m
- (ρ_{sa}) Resistividad superficial acceso.....	5.000 ($\Omega \cdot m$)
- (R_{a1}) Resistencia del calzado/pie	2.000 (Ω)
- (t) Tiempo de duración del defecto	0,5 s
- Número de líneas aéreas.....	1 ud
- Número de líneas de distribución (o trafos de potencia)	2 ud
- (h) Profundidad de la malla	0,6 m
- (A) Área cubierta por la malla	4.343 m ²
- Tensión de servicio nominal	220 kV
- Factor de división corriente líneas aéreas o por inducción	70,85 %
- Razón X/R de la impedancia subtransitoria del sistema	10
- Factor de asimetría (Df).....	1,02
- Intensidad de cortocircuito aplicada.....	10 kA

1.2. PARÁMETROS DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA


Características del terreno

El diseño de la puesta a tierra, en base al tipo de terreno (terreno de cultivo) se realiza con un modelado homogéneo del terreno y se estima con una resistividad de 120 $\Omega \cdot m$.

Resistividad superficial

El terreno de la subestación estará cubierto con una capa de grava con un espesor mínimo de 10 cm. Se considerará para la capa de grava una resistividad de 3.000 $\Omega \cdot m$.



Dado que esta capa es de apenas 10 cm de espesor, se calcula una resistividad superficial aparente que tiene en cuenta esta circunstancia aplicando un factor reductor C_s que se obtiene de la siguiente fórmula empírica:



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245
<http://collaragon.evisado.net/validarCSV.aspx?CSV=AGVIBEH154RZRK5>

31/10
2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 3: RED INFERIOR DE PUESTA A TIERRA	Nº DOC.: 007 Anexo 3 - Red de puesta a tierra.doc
Rev.: 00		

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

Donde:

- ρ : resistividad del suelo en $\Omega \cdot m$
- ρ_s : resistividad superficial en $\Omega \cdot m$
- h_s : espesor de la capa superficial, en m

Por lo tanto, $C_s = 0,667$. Aplicando este factor a la resistividad superficial, se tiene el valor de la resistividad superficial equivalente ρ'_s a aplicar en los cálculos de tensiones admisibles.

$$\rho'_s = 2.002 \Omega \cdot m$$

Tiempo total de duración de falta o defecto

Se considera un valor de tiempo igual a 1 segundos, correspondiente a la suma de los tiempos parciales de la corriente de defecto de los sucesivos posibles reenganches automáticos.

Corriente de puesta a tierra

El proyecto de la instalación de puesta a tierra se realiza sobre un valor de corriente de falta (I_f) máximo admisible de 10 kA.


Sobre este valor de 10 kA se consideran los siguientes factores:

- factor de incremento (C_p) igual a 1 (sin previsión de ampliación de una posición futura).
- La constante de tiempo subtransitoria depende del factor X/R del sistema, que no es fácilmente calculable. El valor estándar es de 3 a 10, peor su influencia cuanto mayor sea. En este caso el factor X/R es de 10.
- factor de asimetría (D_f) para un tiempo superior a 0,5 s vale 1, y por debajo de ese tiempo se obtiene según la expresión:

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} \cdot (1 - e^{-2t_f/T_a})}$$

donde T_a es la constante de tiempo subtransitoria del sistema equivalente.

Según la norma IEEE-80, se puede obtener un factor de división de la corriente de cortocircuito que dependerá del porcentaje de contribución a la corriente de cortocircuito local y remoto, de la cantidad de líneas de transmisión y distribución conectadas a la subestación,





COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE ARAGÓN

VISADO : VIZA229245

<http://collaragon.evisado.net/validarCSV.aspx?CSV=AGVIBEH154RZRK5>

31/10 2022

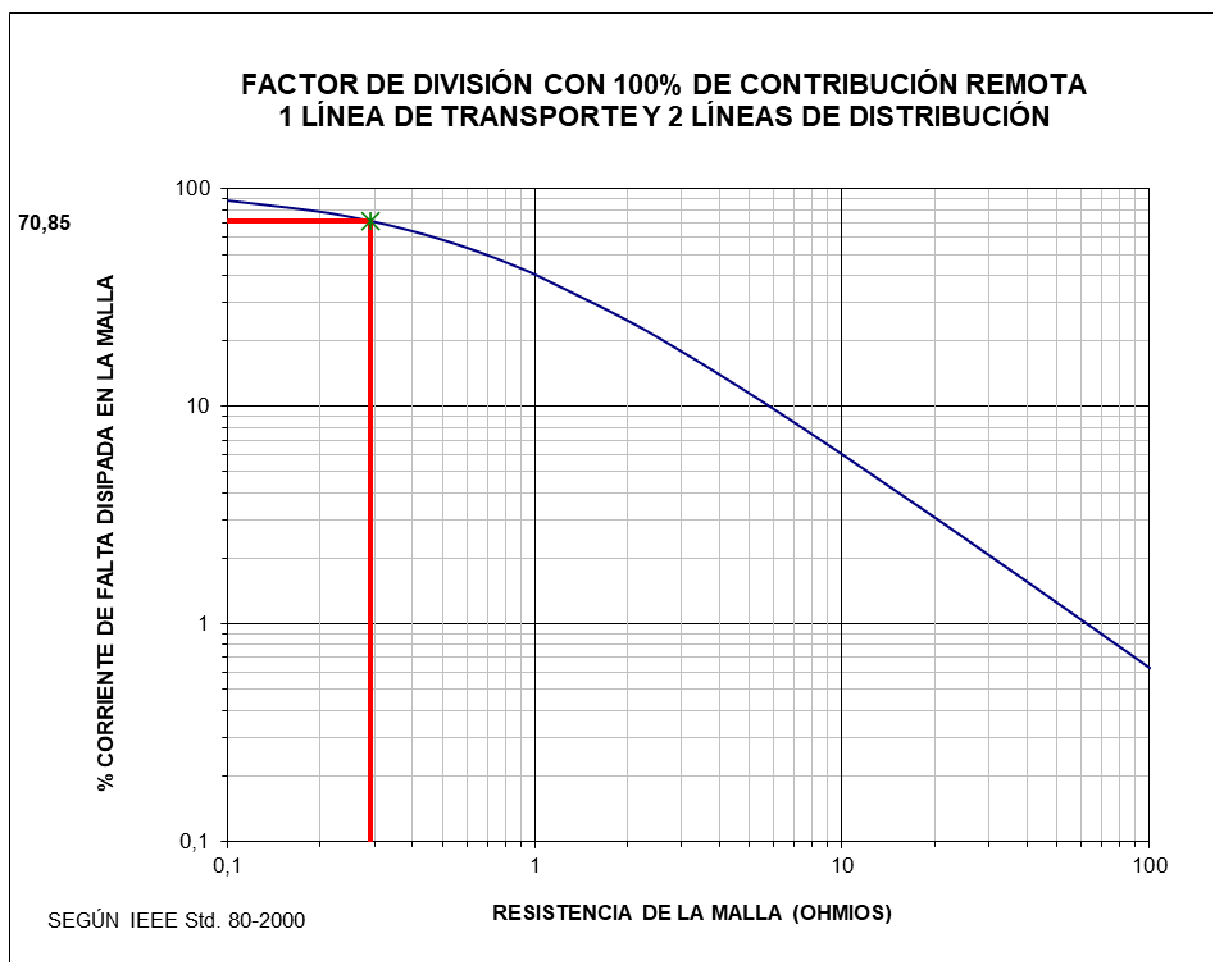
Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa) Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022 Rev.: 00	ANEXO 3: RED INFERIOR DE PUESTA A TIERRA	Nº DOC.: 007 Anexo 3 - Red de puesta a tierra.doc

así como los valores de resistencia de la red de tierra y las resistencias de puesta a tierra de las líneas de transmisión y distribución.

Para el caso de nuestra subestación se ha considerado una línea de distribución tomando como tal el transformador de potencia.



Por lo tanto, el factor de división de corriente que determina la porción de corriente de defecto que pasa al terreno a través de la instalación de puesta a tierra provocando la elevación de potencial de la misma, según la IEEE en la gráfica se puede obtener un factor de división de 70,85%.



En la gráfica se entra con la resistencia de la malla de tierra calculada en los siguientes apartados y cuyo valor asciende a 0,29 Ω.

Se determina una corriente de puesta a tierra (IG) de 7,45 kA.

$$IG = C_p \cdot D_f \cdot S_f \cdot I_f$$

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 3: RED INFERIOR DE PUESTA A TIERRA	Nº DOC.: 007 Anexo 3 - Red de puesta a tierra.doc
Rev.: 00		

Electrodo de puesta a tierra

El electrodo tiene morfología de entramado rectangular y se encuentra enterrado a una profundidad de 0,6 m. Las dimensiones son aprox. 77 y 56,40 metros con 10 elementos paralelos en el lado corto, y 13 elementos paralelos en el lado largo.

Prescripciones generales de seguridad

Al efecto de validar el diseño de la instalación de puesta a tierra se calculan los valores máximos de las tensiones de paso y contacto a que puedan quedar sometidas las personas que circulen o permanezcan en puntos accesibles del interior o exterior de la instalación eléctrica.

De acuerdo a la instrucción técnica ITC-RAT 13 del Reglamento de instalaciones de alta tensión vigente, las tensiones de paso y contacto vienen dadas por las siguientes expresiones:

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

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

Siendo:

U_{ca} : Valor admisible de la tensión de contacto aplicada en función de la duración de la corriente de falta, obtenida de la Tabla 1 de ITC-RAT 13, en V.


R_{a1} : Resistencia de contacto del calzado, se toma 2.000 Ω .



ρ_s : Resistividad de la capa superficial del terreno, en $\Omega \cdot m$.

Así pues, para la resistividad superficial del modelo de terreno, y el tiempo de despeje de la falta (0,5 s) adoptados, se tienen las siguientes tensiones de paso y contacto máximas admisibles:

$$U_c = 1.020,72 \text{ V}$$

$$U_p = 34.708,80 \text{ V}$$


COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE ARAGÓN VISADO : VIZA229245 http://collaragon.e-visado.net/validarCSV.aspx?CSV=AGVIBEH154RZRK5
31/10 2022
Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa) Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 3: RED INFERIOR DE PUESTA A TIERRA	Nº DOC.: 007 Anexo 3 - Red de puesta a tierra.doc
Rev.: 00		

1.3. CÁLCULOS DEL CALENTAMIENTO DEL CONDUCTOR

Se deberá calcular que el conductor no alcanza la temperatura máxima de 200 °C durante un cortocircuito.

Según la IEEE-80, se describe la siguiente expresión, para relacionar temperaturas máximas alcanzadas, sección de conductor e intensidad admisible:

$$A_{\text{mm}^2} = I \cdot \sqrt{\frac{t_c \cdot \alpha_r \cdot \rho_r \cdot 10^4}{\text{TCAP} \cdot \ln \left(1 + \frac{T - T_a}{K_0 + T_a} \right)}}$$

siendo:

α_0 : coeficiente térmico de la resistividad del conductor a 0°C, 0,00413.

$$K_0 = 1/\alpha_0$$

α_r : coeficiente térmico de la resistividad del conductor a 20°C, 0,00381

T_f : temperatura de fusión del conductor, 1.084

ρ_r : resistividad de conductor, 1,777 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$


TCAP: factor de capacidad térmica del conductor, 3,422 J/cm³/°C

t_c : tiempo de duración de la falta, 1 seg.

T_a : temperatura ambiente de calentamiento, 25 °C

Despejando en este caso la temperatura, se obtiene un valor de **34,48 °C**, muy por debajo de la máxima admisible, de 200° C



Para esta sección de 120 mm², la densidad de corriente es de **41,91 A/mm²**, inferior a los 160 A/mm² máximos admisibles para el Cu.



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245
<http://collaragon.evisado.net/validarCSV.aspx?CSV=AGVIBEH154RZRK5>

31/10 2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa) Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 3: RED INFERIOR DE PUESTA A TIERRA	Nº DOC.: 007 Anexo 3 - Red de puesta a tierra.doc
Rev.: 00		

1.4. VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Análisis del sistema de puesta a tierra

La validación del electrodo en cada escenario se establece atendiendo a los siguientes criterios:

- Tensiones de contacto resultantes inferiores a las máximas admitidas.
- Tensiones de paso resultantes inferiores a las máximas admitidas.

Tensión de contacto

Se define la tensión de contacto como la fracción de la tensión que puede puentear una persona entre la mano y el pie, considerando una separación de 1 metro.

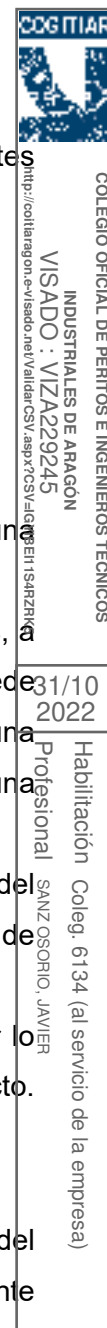
Por su propia definición, la verificación de la tensión de contacto debe cumplirse, al menos, a un metro de cualquier objeto metálico que se encuentra conectado a tierra y que puede presentar una elevación de tensión con respecto al suelo en el momento de producirse una falta a tierra. La separación de un metro es la distancia máxima teórica que podría tocar una persona puesta de pie con el brazo extendido.



Para el caso en estudio, se debe cumplir la tensión de contacto al menos a un metro del cerramiento, puesto que este elemento es el único que es accesible y susceptible de presentar una tensión superior a la del suelo en el momento de una falta.

La tensión máxima de contacto es de **898,67 V**, valor inferior al límite de **1.020,72 V**. Por lo tanto, bajo estas condiciones, el electrodo es válido según el criterio de la tensión de contacto.

Tensión de paso

Cuando se produce una descarga a través de la red de puesta a tierra, en la superficie del terreno aparece una tensión. Si el gradiente de tensión superficial es lo suficientemente grande, una persona que se encuentre en las proximidades puede sufrir un choque eléctrico sin necesidad de estar tocando parte conductora alguna. Esta circunstancia se da cuando la diferencia de tensión superficial existente entre un pie y el otro es lo suficientemente elevada. En este contexto se define el concepto de tensión de paso: la tensión de paso es la tensión que una persona puede puentear con los dos pies, considerando el paso de una longitud de un metro.



	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022	ANEXO 3: RED INFERIOR DE PUESTA A TIERRA	Nº DOC.: 007 Anexo 3 - Red de puesta a tierra.doc
Rev.: 00		

La tensión de paso es menos peligrosa que la de contacto, por lo que el límite de la tensión admisible es superior comparado con ésta.

La tensión máxima que se alcanza es de **654,34 V**, valor muy por debajo del límite de **34.708,80 V**. Por lo tanto, bajo estas condiciones, el electrodo también es válido según el criterio de la tensión de paso.

1.5. CÁLCULOS ADICIONALES: RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA

Resistencia de la puesta a tierra según Fórmula de Sverak

$$R_g = \rho \cdot \left[\frac{1}{L} + \frac{1}{\sqrt{20 \cdot A}} \cdot \left(1 + \frac{1}{1 + h \cdot \sqrt{20/A}} \right) \right] = 0,29 \, \Omega.$$


siendo:

- ρ resistividad media de la tierra
- A: área ocupada por la malla de puesta a tierra
- L: longitud total de conductor enterrado, $L = L_C + L_R$ $L = L_C + 1,15 \cdot L_R$
- h: profundidad de enterramiento de la malla

1.6. FALTAS A TIERRA EN EL LADO DE MEDIA TENSIÓN

En caso de que la falta a tierra sea en el lado de media tensión, la intensidad estará limitada por las reactancias de puesta a tierra de los transformadores. Esta intensidad, siguiendo la documentación de la reactancia trifásica, es de 500 A.



Esta intensidad, debido a que es menor que la calculada de alta tensión (10 kA), generará menores tensiones de paso y contacto, con lo que se puede comprobar que es una condición menos restrictiva que el cortocircuito en alta tensión. El electrodo sigue siendo completamente válido para este caso.



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245
<http://collaragon.evisado.net/validarCSV.aspx?CSV=GVIBEH154RZRK5>

31/10
2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SUBESTACIÓN RUEDA ESTE 220/30 kV	
Octubre 2022 Rev.: 00	ANEXO 3: RED INFERIOR DE PUESTA A TIERRA	Nº DOC.: 007 Anexo 3 - Red de puesta a tierra.doc

1.7. CONCLUSIONES ANÁLISIS MALLA DE PUESTA A TIERRA

Habiendo realizado las comprobaciones pertinentes, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

El electrodo de puesta a tierra proyectado para la SET, se encuentra enterrado a una profundidad de 0,6 m. Las dimensiones son 77 y 56,40 metros con 10 elementos paralelos al lado corto, y 13 elementos paralelos al lado largo. El material será cable de Cu de 120 mm de sección.

Con estas características, el electrodo de puesta a tierra está debidamente protegido contra fallos de tierra, tanto en el lado de alta tensión, como en el lado de media tensión.



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245
<http://coffitaragon.es/validadorCSV.aspx?CSV=AGVIBEH154RZRK5>

31/10
2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

CEAR



ANEXO 4 ESTUDIO DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EDICION 00

Subestación Eléctrica RUEDA ESTE 220/30 kV

Realizado por:





Octubre 2022




COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
VISADO : VIZA229245
<http://coltiraigon.e-visado.neivalliderCSV.aspx?CSV=JGVIBEH154RZRK5>

31/10/2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER



	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SET RUEDA ESTE 220/30 kV Épila (Zaragoza)	
Octubre 22	ANEXO 4: ESTUDIO CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	Nº DOC.: -008 Anexo 4 - Estudio de campos magnéticos.docx
Rev.: 00		

CONTROL DE REVISIONES			
Edición Nº:	Fecha:	Motivo Revisión	 COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE ARAGÓN VISADO : VIZA229245 31/10 2022 Profesional SANZ OSORIO, JAVIER
00	Octubre 2022	Edición original	

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
PREPARADO POR	SSR	SSR	Octubre 2022


LISTA DE DISTRIBUCIÓN		
NOMBRE	EMPRESA	DIRECCIÓN DE ENVÍO
(*) Persona encargada de la redacción del presente documento (**) Persona encargada de la distribución final del documento		

PROYECTO: Proyecto Técnico Administrativo SET Rueda Este 220/30 kV

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SET RUEDA ESTE 220/30 kV Épila (Zaragoza)	
Octubre 22	ANEXO 4: ESTUDIO CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	Nº DOC.: -008 Anexo 4 - Estudio de campos magnéticos.docx
Rev.: 00		

CONTENIDO



1.	OBJETO	4
2.	NORMATIVA VIGENTE	
3.	CRITERIOS DE APLICACIÓN	
4.	CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN.....	
5.	CÁLCULOS DE CAMPOS MAGNÉTICOS.....	
5.1.	Consideraciones de cálculo	
6.	RESULTADOS OBTENIDOS	10
6.1.	Línea aérea de 220kV.....	10
6.2.	Circuitos de 30 kV.....	11
6.3.	Distribución de campos magnéticos.....	12
7.	CONCLUSIONES.....	13



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245
<http://cogitarag.com/visado/ver?id=VIZA229245&id=15482815>

31/10
2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER


	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SET RUEDA ESTE 220/30 kV Épila (Zaragoza)	
Octubre 22	ANEXO 4: ESTUDIO CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	Nº DOC.: -008 Anexo 4 - Estudio de campos magnéticos.docx
Rev.: 00		

1. OBJETO

El objeto de este Documento es el análisis de las emisiones magnéticas en el entorno exterior inmediato de la Subestación Eléctrica Rueda Este 220/30 kV, para dar cumplimiento al RD 337/2014 (Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión), donde se indica que se deberán realizar cálculos para comprobar que no se supera el valor establecido en el Real Decreto 1066/2001.

Con posterioridad surgen dos disposiciones principales, el Real Decreto 299/2016 de 22 de julio y el Real Decreto 123/2017 de 24 de febrero. Dado que límites marcados en éstos últimos decretos son menos estrictos se mantendrá inicialmente como referencia los valores publicados en el Real Decreto 1066/2001 observando si existe algún problema.

El alcance comprende el cálculo de los niveles máximos del campo magnético que puedan alcanzarse en dicho entorno haciendo una evaluación comparativa con los límites establecidos en la normativa vigente, para asegurar las condiciones de protección a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria establecidas en dicha normativa.





COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN

VISADO : VIZA229245


31/10
2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SET RUEDA ESTE 220/30 kV Épila (Zaragoza)	
Octubre 22	ANEXO 4: ESTUDIO CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	Nº DOC.: -008 Anexo 4 - Estudio de campos magnéticos.docx
Rev.: 00		

2. NORMATIVA VIGENTE

- RD 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas.
- RD 337/2014 de 9 de mayo, por el que se aprueba 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.
- RD 299/2016 de 22 de julio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a campos electromagnéticos.
- RD 123/2017, de 24 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre el uso del dominio público radioeléctrico.
- Directiva 2013/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 26 de junio de 2013.




COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE ARAGÓN

VISADO : VIZA229245

<http://portal.ion-evisado.net/validarCSV.aspx?CSV=GVIBEH154RZRK5>

31/10
2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SET RUEDA ESTE 220/30 kV Épila (Zaragoza)	
Octubre 22	ANEXO 4: ESTUDIO CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	Nº DOC.: -008 Anexo 4 - Estudio de campos magnéticos.docx
Rev.: 00		

3. CRITERIOS DE APLICACIÓN

De acuerdo al RD 1066/2001, en el punto 3.1 Niveles de Campo, se establecen los límites de referencia para campos magnéticos y eléctricos, en función de la frecuencia de los mismos. Para el caso que nos ocupa y considerando que la frecuencia de red es de 0,05 kHz, los límites máximos de referencia según éste Real Decreto son los siguientes:

Intensidad de campo $E = 5.000 \text{ V/m}$

Intensidad de campo $H = 80 \text{ A/m}$

Campo Magnético $B = 100 \text{ } \mu\text{T}$

En el caso del RD 299/2016 los niveles de acción aparecen en el Anexo II, sección B3, Tabla 1 y para una frecuencia de red de 50 Hz define los siguientes límites:


Límite efectos sensoriales = $1000 \text{ } \mu\text{T}$

Límite efectos para la salud = $6000 \text{ } \mu\text{T}$

Como ya se ha indicado en el punto 1 a lo largo de éste estudios se tomará como referencia los niveles definidos en el RD 1066/2001 por ser más estrictos.

El método general de medida de campo magnético definido por UNESA define entre sus pautas generales:


- Se tomarán las medidas a una altura de 1 metro del suelo, a excepción de las medidas específicas y puntuales a aparatos, electrodomésticos o instalaciones eléctricas concretas.



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245
<http://coltaraigon.e-visado.net/VisadoCSV.aspx?CSV=AGVIBEH11RZRK5>

31/10
2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SET RUEDA ESTE 220/30 kV Épila (Zaragoza)	
Octubre 22	ANEXO 4: ESTUDIO CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	Nº DOC.: -008 Anexo 4 - Estudio de campos magnéticos.docx
Rev.: 00		

4. CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN

La Subestación Eléctrica Rueda Este es una Subestación Eléctrica Transformadora 220/30 kV en la que:

- El sistema de 220 kV está instalado en intemperie.
- Los transformadores de potencia están instalados en intemperie.

De acuerdo con el Real Decreto 1066/2001 en el que se aconseja tomar medidas que limitan las radiaciones de campo eléctrico y magnético, describimos aquellos criterios que se han tomado para minimizar la emisión de campos electromagnéticos y poder así cumplir los límites establecidos en el mismo.



- Los cables subterráneos que poseen una pantalla metálica atenúan el campo eléctrico. Además, si son distribuidos en ternas, de tal forma que se compensa el campo magnético que genera cada cable, lo que supone un eficaz método de reducir las emisiones magnéticas.
- Equipos eléctricos como las celdas son equipos blindados por carcasas metálicas que anulan el campo eléctrico y disminuyen el campo magnético, además se encuentran alejados del cerramiento y protegidos en el interior de un edificio.
- Los transformadores de potencia se encuentran en intemperie separados una distancia prudencial del cerramiento minimizando de esta forma las emisiones al exterior.
- Zanjas y atarjeas de cables se diseñan retranqueadas del cerramiento para minimizar las emisiones de campo magnéticos de las mismas.
- Las acometidas de cables de AT/MT se encuentran distribuidas en diferentes puntos como medida de limitar el valor máximo de campo magnético.



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245
<http://collaragon.evisado.net/validarCSV.aspx?CSV=AGVIBEH154RZK5>

31/10
2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SET RUEDA ESTE 220/30 kV Épila (Zaragoza)	
Octubre 22	ANEXO 4: ESTUDIO CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	Nº DOC.: -008 Anexo 4 - Estudio de campos magnéticos.docx
Rev.: 00		

5. CÁLCULOS DE CAMPOS MAGNÉTICOS

Se ha realizado un análisis y estudio de la emisión magnética producida por cada uno de los equipos eléctricos que constituyen la Subestación Eléctrica Rueda Este a través del programa simulación de campos magnéticos SISEMFIELD V0.0.

Los resultados obtenidos a través de la simulación informática son corroborados por las mediciones y muestras de campo magnético realizadas en otras instalaciones de características similares o en funcionamiento por todo el territorio nacional.

5.1. Consideraciones de cálculo

Para la obtención de los resultados se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- El estudio se realiza para la zona interior y exterior de la subestación y a una altura de 1 m sobre el suelo.
- Se consideran como fuentes principales de campo magnético los equipos y cables eléctricos existentes dentro del cerramiento de la SET, no considerándose los equipos eléctricos o instalaciones ajenas o exteriores al recinto de la SET, salvo las correspondientes a la propia instalación.
- Se considera un grado de carga del 110% de la instalación en el nivel de 220 kV, de forma que se analice el caso más desfavorable de emisión de campos, aún cuando esta situación no está prevista que se dé durante la explotación habitual de la instalación, ni físicamente posible por el balance de las cargas consideradas en la actualidad.
- Se aplica el principio de superposición, para conocer el campo magnético generado por dos o más elementos, es decir para obtener el campo magnético en un punto, se sumará vectorialmente la aportación de cada uno de los elementos calculados individualmente.

La subestación consiste en una serie de equipos en intemperie de 220 kV, las cuales están constituidas por aparamenta convencional y embarrados rígidos.



Esto es, existe dos transformadores trifásicos 220/30 kV y una salida de línea de 220 kV.

Para considerar el caso más desfavorable, se desprecian las pérdidas en los equipos y líneas y a la potencia nominal, aún cuando no se prevea su funcionamiento en este régimen.

Para el transformador de potencia, al igual que pasa en las posiciones blindadas, el campo magnético que emite al exterior un transformador de potencia no es muy intenso debido a su propia construcción y se amortigua muy rápidamente con la distancia. Por otra parte, la principal fuente de generación de campo magnético son las líneas de alimentación de entrada y salida, por lo que se modelan éstas en detrimento del propio transformador y cuya aportación se desprecia comparada con ellas.




COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245
<http://collaragon.evisado.net/validarCSV.aspx?C=0&G=VIBEN1&RZ=0>
31/10
2022
Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER



	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SET RUEDA ESTE 220/30 kV Épila (Zaragoza)	
Octubre 22	ANEXO 4: ESTUDIO CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	Nº DOC.: -008 Anexo 4 - Estudio de campos magnéticos.docx
Rev.: 00		

Basándonos en las potencias de los transformadores de 220/30 y considerando una sobrecarga del 10 %, las corrientes consideradas han sido las siguientes:

- Nivel 220 kV
 - Posición de transformador TR1 de 50 MVA: 144.34 A
 - Posición de transformador TR2 de 30 MVA: 86.60 A
 - Posición salida de línea aérea: 230.94 A
- Nivel 30 kV
 - Cables de 30 kV TR1: 1058.48 A
 - Cables de 30 kV TR2: 517.48 A

(Los circuitos se consideran como un único cable que transporta toda la potencia, ya que esta consideración es más desfavorable).


COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE ARAGÓN VISADO : VIZA229245 http://collaragon.e-visado.net/validarCSV.aspx?CSV=AGVIBEH154RPRK5
31/10 2022
Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa) Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SET RUEDA ESTE 220/30 kV Épila (Zaragoza)	
Octubre 22	ANEXO 4: ESTUDIO CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	Nº DOC.: -008 Anexo 4 - Estudio de campos magnéticos.docx
Rev.: 00		

6. RESULTADOS OBTENIDOS

En los apartados posteriores se reflejan los resultados de los campos magnéticos obtenidos en el vallado de la subestación transformadora y en el exterior de la misma.

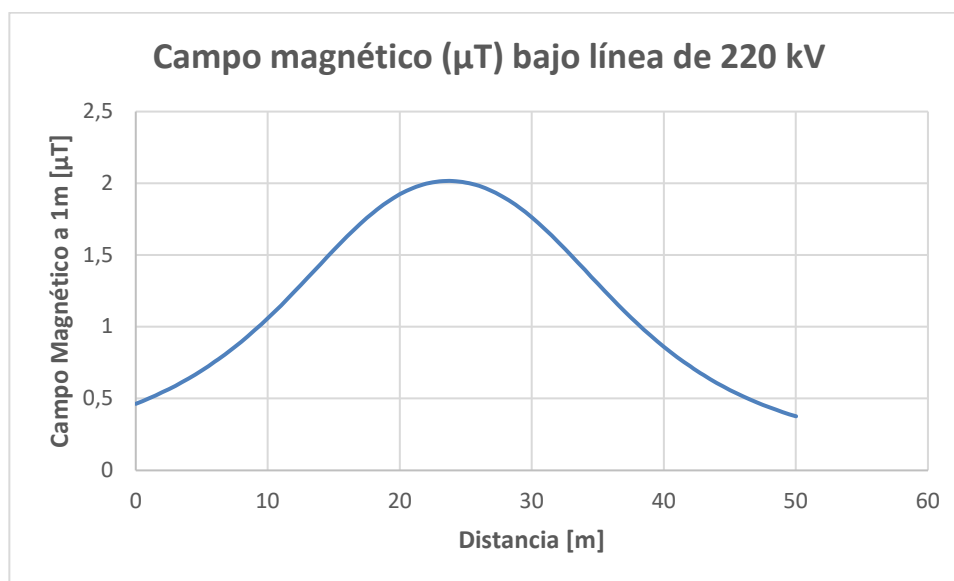
Los cálculos realizados muestran que el valor del campo magnético en el contorno de la subestación está en su mayoría por debajo de 4 μT , salvo en las zonas que se encuentran las entradas/salidas de las líneas aéreas que presentan valores de hasta 12 μT en el eje vertical de la traza. Estos niveles de campo disminuyen a medida que nos alejamos de la instalación y de los ejes de las líneas.

En la imagen incluida en el anexo pueden observarse los niveles de campo magnético originados en el exterior de las instalaciones estudiadas, representados mediante curvas de nivel.

6.1. Línea aérea de 220kV

La línea aérea de 220 kV se considera en disposición de conductores en capa con una separación de 7 m a una altura de 15.5 m sobre el suelo.

En la figura siguiente se aprecia el campo magnético máximo generado ésta calculada en un plano transversal a la línea a un nivel del suelo de 1 metro.



El campo magnético generado por la línea a 1 m del suelo tiene un valor máximo que no alcanza 2.02 μT .




COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN

VISADO : VIZA229245
<http://colliaragon.evisado.net/validarCSV.aspx?CSV=AGVIBEH154RZRK5>

31/10
2022

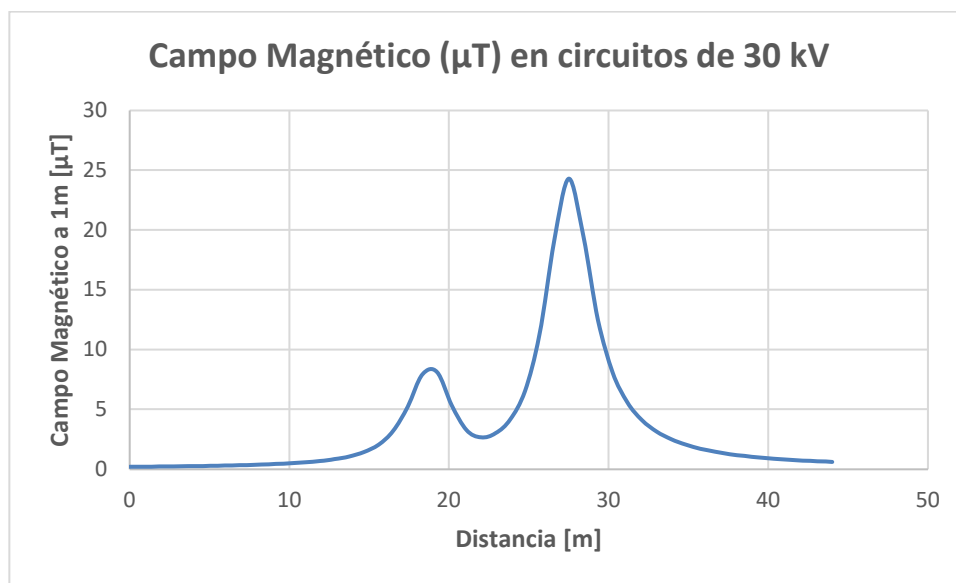
Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SET RUEDA ESTE 220/30 kV Épila (Zaragoza)	
Octubre 22	ANEXO 4: ESTUDIO CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	Nº DOC.: -008 Anexo 4 - Estudio de campos magnéticos.docx
Rev.: 00		


6.2. Circuitos de 30 kV

Los cables de media tensión se consideran enterrados y como un único conductor, condición más desfavorable.

En la figura siguiente se aprecia el campo magnético máximo generado ésta calculada en un plano transversal a la línea a un nivel del suelo de 1 metro.





El campo magnético generado por la línea a 1 m del suelo tiene un valor máximo que no alcanza 24.28 μT .



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245
<http://coltaraion.e-visado.net/validarCSV.aspx?CSV=AGVIBEH154RZRK5>

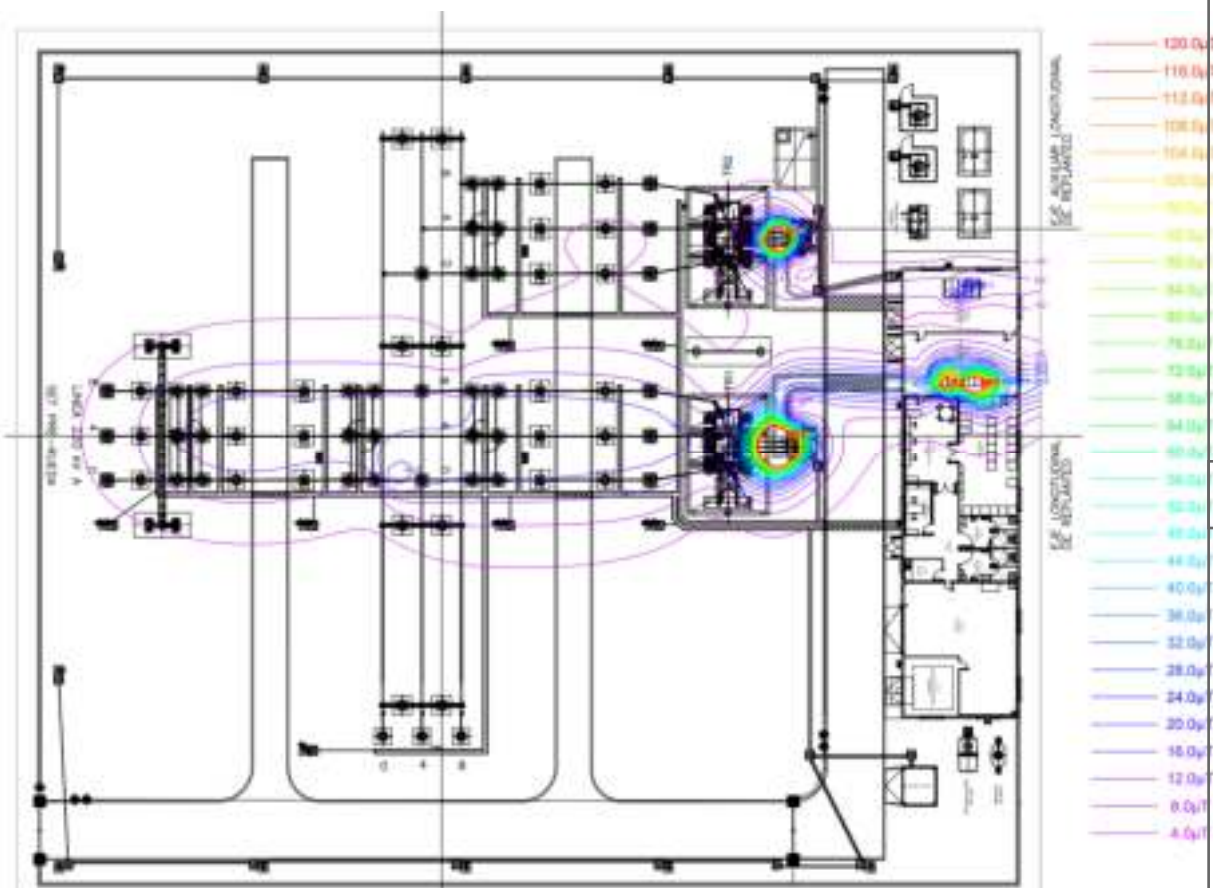
31/10
2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SET RUEDA ESTE 220/30 kV Épila (Zaragoza)	
Octubre 22	ANEXO 4: ESTUDIO CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	Nº DOC.: -008 Anexo 4 - Estudio de campos magnéticos.docx
Rev.: 00		

6.3. Distribución de campos magnéticos


La línea aérea de 220 kV se considera en disposición de conductores en capa con una separación de 7 m a una altura de 15,5 m sobre el suelo; y los cables de media tensión se consideran enterrados y como un único conductor, condición más desfavorable.



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE ARAGÓN
VISADO : VIZA229245
<http://colleiaragon.e-vistado.net/validarCSV.aspx?CSV=AGVIBEH154RZRK5>

31/10
2022

Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa)
Profesional SANZ OSORIO, JAVIER

	MODIFICACIÓN DE PROYECTO SET RUEDA ESTE 220/30 kV Épila (Zaragoza)	
Octubre 22	ANEXO 4: ESTUDIO CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS	Nº DOC.: -008 Anexo 4 - Estudio de campos magnéticos.docx
Rev.: 00		

7. CONCLUSIONES

Como conclusión sobre los análisis realizados en cuanto a la actividad de la Subestación Eléctrica Rueda Este 220 /30kV en las condiciones más desfavorables de funcionamiento, los límites de radiación emitidos están por debajo de los límites técnicos establecidos en la normativa vigente, documentación enumerada en el apartado 2. "Normativa Vigente".

Por consecuencia, se puede decir que las medidas correctoras tomadas en el diseño de la instalación y enumeradas en el apartado 4 "Características de la instalación" son suficientes para cumplir la normativa nacional e internacional de emisiones magnéticas.


Zaragoza, Noviembre de 2020
EL INGENIERO AUTOR DEL PROYECTO


SISENER INGENIEROS, S.L.
Paseo Sacrista, 17 / planta 1ª
50008 Zaragoza
Tlf.: 976 301 351, Fax 976 214 760

Javier Sanz Osorio

Colegiado 6.134 COGITIAR

Al servicio de SISENER Ingenieros S.L.

 COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE ARAGÓN VISADO : VIZA229245 http://collaragon.e-visado.net/validarCSV.aspx?CSV=AGVIBEH154RZRK5
31/10 2022
Habilitación Coleg. 6134 (al servicio de la empresa) Profesional SANZ OSORIO, JAVIER