

**ingenostrum.**

Executing your renewable vision

**PARQUE FOTOVOLTAICO  
FV MESA ROLDAN 5**

SP.IN018.2.M.GN.009-1A  
CÁLCULOS ELECTROMAGNÉTICOS

VEJER DE LA FRONTERA  
(CADIZ)

*Tabla 1.- Control de versiones del documento*

Versión	Fecha	Motivo de la actualización	Elaborado	Verificado	Aprobado
00	02/10/2025	Emisión Inicial	PRG	BLF	JMO
01	18/12/2025	Modificaciones por requerimiento de firma	PRG	PRG	JMO

Sevilla, diciembre de 2025

Con master en Ingeniería Industrial  
JOAQUÍN MARTÍN-OAR MARÍA-TOMÉ,  
N.º de colegiado 07149  
Colegio Oficial  
de Ingenieros Industriales de Andalucía Occidental (COIIAOC)



## Contenido

<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
1.1 Objeto.....	4
<b>2 NORMATIVA APLICABLE</b> .....	<b>4</b>
<b>3 DESCRIPCIÓN GENERAL INSTALACIONES</b> .....	<b>5</b>
3.1 Características generales .....	5
<b>4 ESTUDIO DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS</b> .....	<b>7</b>
4.1 Definiciones y fuentes de campos eléctricos y magnéticos .....	7
4.2 Campos magnéticos de la instalación solar fotovoltaica .....	12
4.3 Conclusiones .....	17



## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 OBJETO

El objeto de este anexo es el estudio de los campos magnéticos de la planta fotovoltaica, cumpliendo con lo establecido en la ITC-RAT 20 Apartado 3.2.1.g.

El estudio comprende el cálculo de los niveles máximos del campo magnético que, por razón de la actividad de la planta fotovoltaica, puedan alcanzarse en dicho entorno y su evaluación comparativa con los límites establecidos en la normativa vigente en términos de límites técnicos, en relación con las condiciones de protección a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria establecidas en la normativa.

## 2 NORMATIVA APLICABLE

Los cálculos que se realizan a continuación cumplen con la normativa vigente en España referente a este tipo de instalaciones y está basado en las siguientes Normas y Reglamentos:

- Reglamento sobre protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a campos electromagnéticos. - Real Decreto 299/2016 de 22 Julio
- Reglamento establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitarias frente a emisiones radioeléctricas.
- RD 337/2014, de 9 de junio, 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.

En particular:

- ITC-RAT 14 Apartado 4.7: Instalaciones eléctricas de interior. Limitación de los campos magnéticos en la proximidad de instalaciones de alta tensión.
- ITC-RAT 15 Apartado 3.15: Instalaciones eléctricas de exterior. Limitación de los campos magnéticos en la proximidad de instalaciones de alta tensión.
- ITC-RAT 20 Apartado 3.2.1: Anteproyectos y proyectos. Memoria.
- 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.
- ANSI-IEE Standard 644-1987 "IEE Standard Procedure for Measurements of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines"
- International Labour Office, "Protection of Workers from Power Frequency Electric and Magnetic Fields: A Practical Guide".



## 3 DESCRIPCIÓN GENERAL INSTALACIONES

### 3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

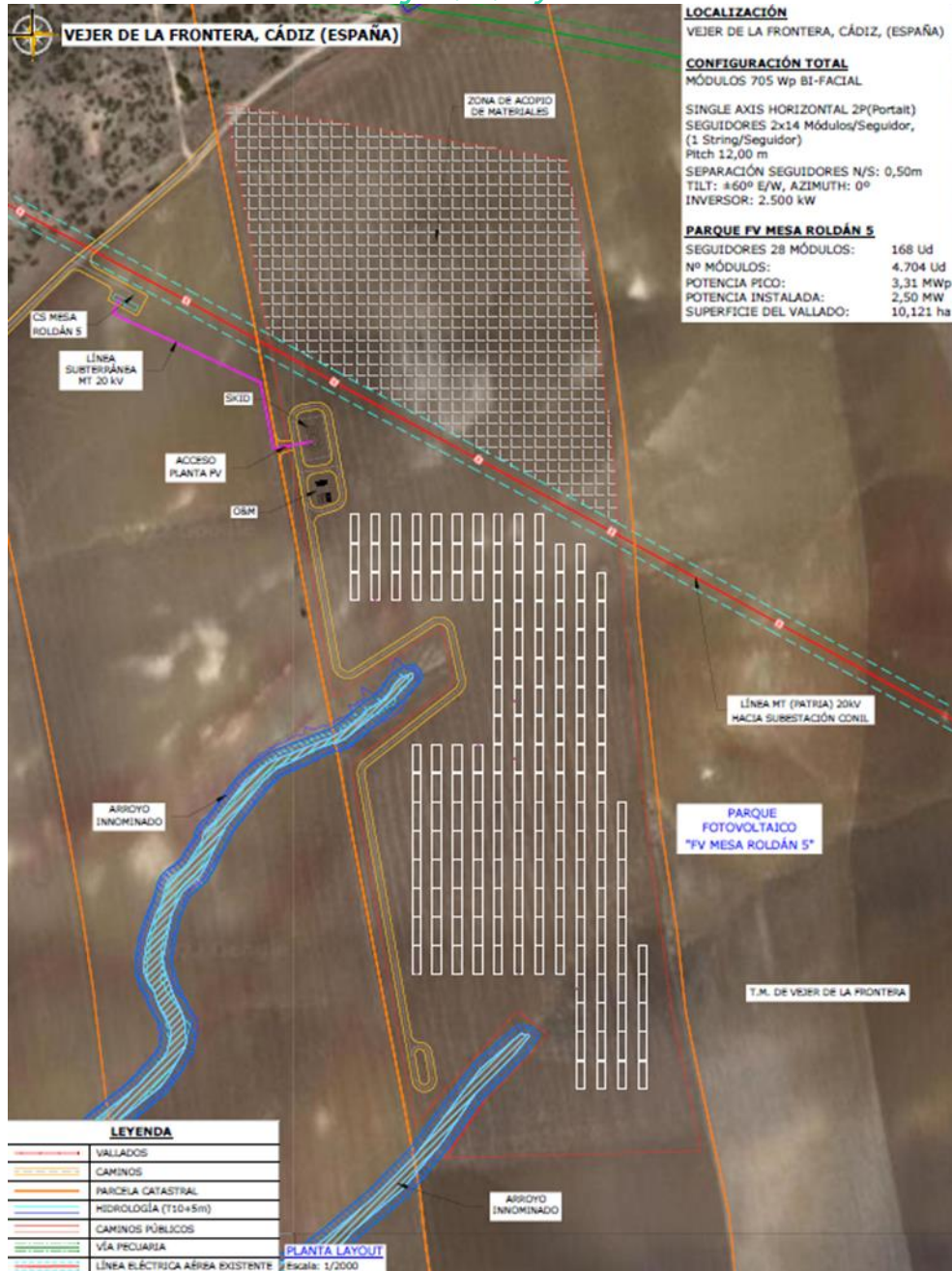
El proyecto fotovoltaico Mesa Roldán 5 consistirá en la construcción, instalación, operación y mantenimiento de una Planta Solar Fovoltaica con módulos fotovoltaicos de tecnología monocristalina y montados sobre estructura.

El proyecto de 2,5 MW de potencia instalada con paneles fotovoltaicos sobre estructura móvil tiene las siguientes características principales:

- Potencia instalada 2,5 MW
- Potencia conectada a red: 2,5 MW
- Nº de módulos fotovoltaicos: 4.704 Ud
  - Potencia módulo fotovoltaico: 705 Wp
  
- Nº de Centros de transformación: 1 Ud
  - Potencia del inversor instalado: 1 x 2.500 kVA a 25°
  - Potencia del transformador instalado: 1 x 3.000 kVA
  - Aparatación MT en 20 kV
  - Centro con capacidad para 1 Transformador + 1 Inversor: 1 centro
  
- Nº de Centros de medida: 1 Ud
- Nº de Centros de Seccionamiento: 1 Ud



Figura.- 1. Layout



### 3.1.1 Centro de Transformación

El centro de transformación considerado para el proyecto FV Mesa Roldán 5 será del tipo en el que todos los equipos se instalan en el exterior. Existirá un Centro de Transformación, que incluirán:

- Envolverte
- Equipo Inversor: (1x) 2.500 2.500kVA
- Transformador de Potencia: (1x) 3.000kVA (0,64/20kV)



- Celdas de Media Tensión
- Cuadros de agrupación CC
- Cuadro auxiliar de BT
- UPS local
- Cuadro de monitorización
- Transformador para servicios auxiliares

Toda la instalación del CT se realizará cumpliendo las indicaciones marcadas por el fabricante del skid, SANTERNO (SUNWAY™ CONVERSION UNIT 1500V) o similar. Se denomina skid debido a que se localizan sobre una plataforma de cimentación que eleva los equipos instalados.

El fabricante del skid, deberá cumplir las normativas correspondientes. Además, tendrá a disposición el certificado de calidad y homologación correspondiente a la integración de los equipos dentro del centro durante la fase de ejecución del proyecto.

*Figura.- 2.Detalle Centro de Transformación*



## 4 ESTUDIO DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

### 4.1 DEFINICIONES Y FUENTES DE CAMPOS ELÉCTRICOS Y MAGNÉTICOS

Los campos eléctricos tienen su origen en diferencias de voltaje: cuanto más elevado sea el voltaje, más fuerte será el campo resultante. Un campo eléctrico existe, aunque no haya corriente. El campo eléctrico (E) se expresa en voltios por metro (V/m) o su múltiplo en kV/m (1 kV/m = 1.000 V/m).



Los campos magnéticos tienen su origen en las corrientes eléctricas: una corriente más fuerte da como resultado un campo magnético más fuerte. También se pueden producir campos magnéticos con imanes permanentes. El campo magnético (H) en un punto dado del espacio se define como la fuerza que se ejerce sobre un elemento de corriente situado en dicho punto, y se expresa en amperios por metro (A/m).

Por tanto, el campo eléctrico existirá siempre que haya cargas eléctricas, mientras que sólo habrá campo magnético cuando esas cargas estén en movimiento; es decir, cuando haya un flujo de corriente eléctrica. Es más habitual representar el campo magnético mediante la inducción magnética o densidad de flujo magnético (B). Ambos están relacionados mediante la permeabilidad magnética ( $\mu$ ):

$$B = \mu * H.$$

La unidad de medida del campo magnético en el Sistema Internacional de unidades es el Tesla (T) o sus fracciones; en particular, el microtesla ( $\mu$ T). En algunos países se utiliza también el Gauss (G). Las equivalencias son las siguientes:

$$1 \mu\text{T} = 10^{-6} \text{ T}$$

$$1 \text{ T} = 10.000 \text{ G}$$

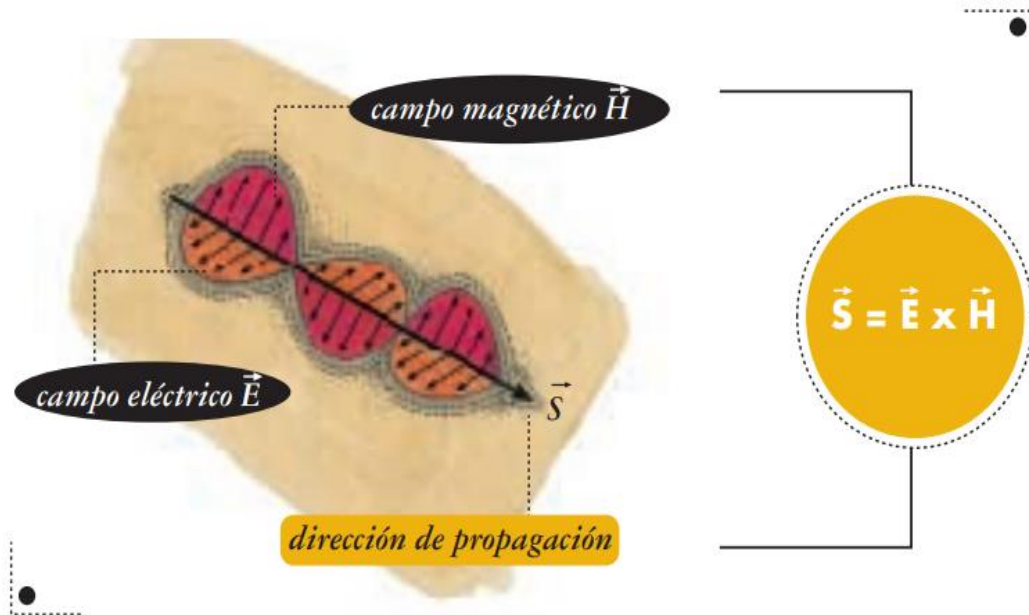
$$1 \mu\text{T} = 10 \text{ mG}$$

#### 4.1.1 Energía del campo magnético: Ondas electromagnéticas

Una de las propiedades del campo electromagnético es transmitir energía a grandes distancias por medio de ondas, en ausencia de cualquier medio material. Esta energía se asocia con el producto vectorial del campo eléctrico y del magnético. Dicho producto se denomina vector de Poynting (S) y representa la densidad de flujo de energía de una onda electromagnética por unidad de tiempo.



*Figura.- 3.Vector de Poynting. Fuente: REE- UNESA: Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz*



#### 4.1.2 El espectro de frecuencias

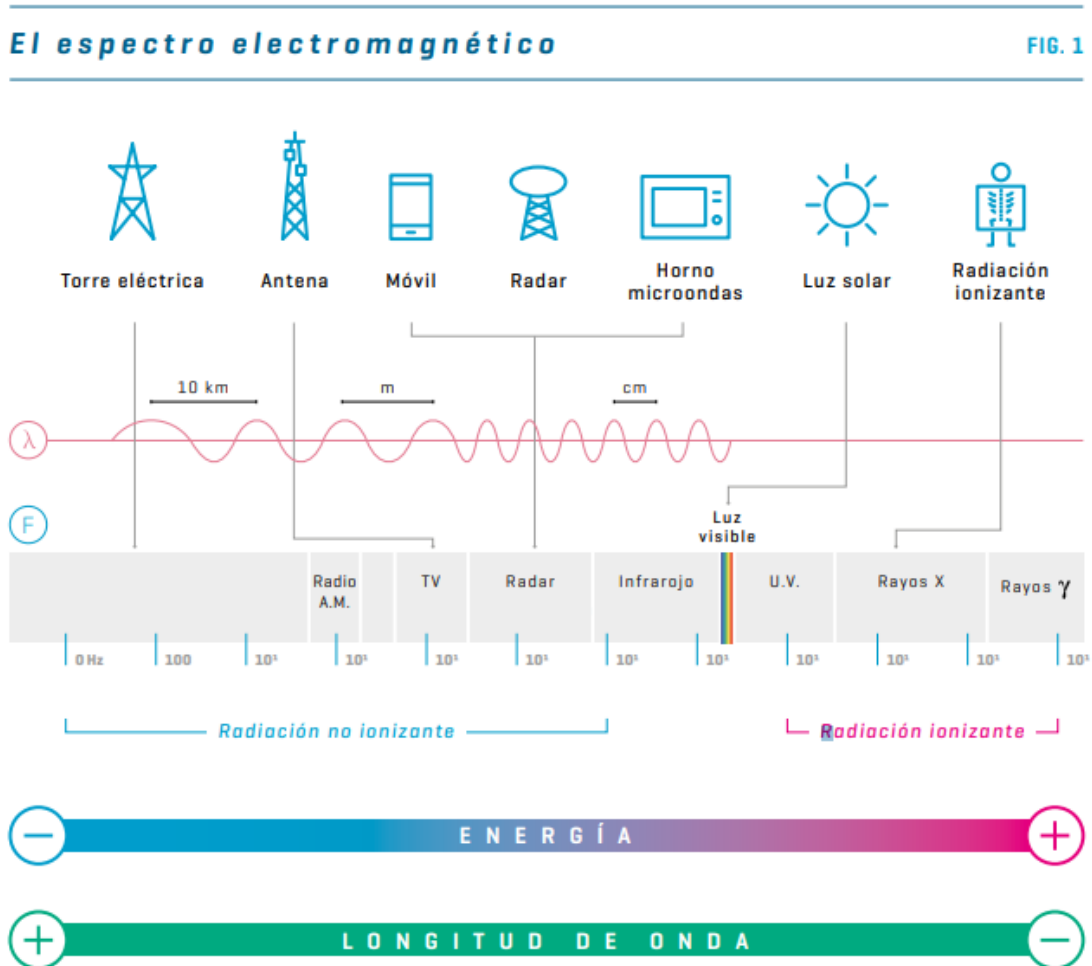
La longitud de onda y la frecuencia determinan otra característica importante de los campos electromagnéticos. Las ondas electromagnéticas son transportadas por partículas llamadas cuantos de luz. Los cuantos de luz de ondas con frecuencias más altas (longitudes de onda más cortas) transportan más energía que los de las ondas de menor frecuencia (longitudes de onda más largas).

Algunas ondas electromagnéticas transportan tanta energía por cuanto de luz que son capaces de romper los enlaces entre las moléculas.

A continuación, se adjunta un gráfico con el espectro electromagnético:



*Figura.- 4.Espectro electromagnético – Fuente: REE: Estudio sobre los posibles efectos para la salud 2001-2016*



El sistema eléctrico funciona a una frecuencia extremadamente baja (50 Hz), denominada 'frecuencia industrial'. Puede comprobarse en el gráfico anterior que dicha frecuencia está dentro de la región de las radiaciones no ionizantes del espectro, por lo que transmiten muy poca energía. Además, a frecuencias tan bajas, el campo electromagnético no puede desplazarse, lo que implica que desaparece a corta distancia de la fuente que lo genera.

Al igual que cualquier otro equipo o aparato que funcione con energía eléctrica, las líneas eléctricas de alta tensión generan un campo eléctrico y magnético de frecuencia industrial. Su intensidad dependerá de diversos factores, como el voltaje, potencia eléctrica que transporta, geometría del apoyo, número de conductores, distancia de los cables al suelo, etc.



Además, existe un campo magnético natural estático, debido, supuestamente, a las corrientes que circulan en el núcleo de la Tierra. La intensidad del campo magnético terrestre varía con la latitud: desde 25  $\mu\text{T}$  en el ecuador magnético (30  $\mu\text{T}$  en el geográfico) hasta aproximadamente 67  $\mu\text{T}$  en los polos. En España, el campo magnético estático natural está alrededor de 40  $\mu\text{T}$ .

### 4.1.3 Campos eléctricos y magnéticos

El sistema eléctrico español, al igual que en toda Europa, funciona a la frecuencia industrial de 50 Hz, frecuencia extremadamente baja. La intensidad dependerá de la energía generada en las plantas fotovoltaicas y la tensión de salida de las estaciones de potencia es la de distribución interna de la planta.

Los campos eléctricos y magnéticos que se producen a esta frecuencia tan baja tienen como principal característica que no se acoplan ni se propagan como una onda, al contrario que, por ejemplo, las radiofrecuencias empleadas en radio, televisión, telefonía móvil, etc., por lo que estos campos desaparecen a corta distancia de la fuente que lo genera.

Los campos electromagnéticos que se generan con el funcionamiento y mantenimiento de las diferentes estaciones de potencia pueden extrapolarse a partir de lo descrito en el Informe "Campos Electromagnéticos y magnéticos de 50 Hz" publicado por UNESA en el 2001, los cuales se indican en la siguiente imagen

*Figura.- 5. Intensidad de campo magnético (media ponderada en el tiempo, TWA) en algunos trabajos del sector eléctrico. Fuente: REE- UNESA: Campos eléctricos y magnéticos de 50 Hz*

SECTOR ELÉCTRICO ESPAÑOL		
	Campo magnético de 50 Hz( $\mu\text{T}$ )	
	media	máximo
▶ Brigada de media tensión (15-20 kV)	0,4	31,2
▶ Brigada de oficinas (Trabajo con ordenador)	0,5	10,6
▶ Brigada de operaciones y averías (6-20 kV)	1,1	551,8
▶ Brigada de mantenimiento en baja tensión (6-20 kV)	1,8	301,6
▶ Brigada de mantenimiento de edificios (220/380V)	1,8	398,5
▶ Brigada de trabajos en tensión en media tensión (15 kV)	2,0	57,7
▶ Trabajo dentro de subestaciones (220 kV)	3,5	8,4
▶ Trabajo dentro de subestaciones (400 kV)	6,0	75,0
▶ Inspección de líneas de alta tensión (400 kV)	15,2	22,0



## 4.2 CAMPOS MAGNÉTICOS DE LA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

La planta fotovoltaica está constituida por un centro de transformación de media tensión, además de otros equipos de control, protección y comunicaciones.

Estos equipos son los responsables de la presencia de campos electromagnéticos en la planta fotovoltaica.

Las estaciones de potencia son un paquete modular preensamblado o premontado en taller que incluye habitualmente uno o dos inversores, un transformador de potencia (BT/MT), las celdas de protección en media tensión, un transformador de servicios auxiliares, un cuadro de distribución en baja tensión y un cuadro de control y centralización de señales. Las estaciones de potencia pueden ser en solución indoor o bien outdoor sobre plataforma metálica.

Para este proyecto se ha seleccionado el centro de transformación que incorpora un inversores y un transformador.

Toda la instalación del centro de transformación se realizará cumpliendo las indicaciones marcadas por el fabricante.

### 4.2.1 Campos magnéticos de los centros de transformación

El campo magnético generado por las diferentes corrientes eléctricas, depende de la intensidad que discurre por los diferentes tipos de cableados.

En el caso de los centros de transformación, se encuentra los siguientes tipos de cableado susceptibles a generar campo electromagnético:

- Cableado de baja tensión en las zanjas de salida del centro de transformación.
- Cableado de media tensión en las zanjas de entrada / salida del centro de transformación.
- Cableado de media tensión entre las celdas y el transformador.
- Cableado de baja tensión entre el transformador y el cuadro de baja tensión.

Para evitar que no se generen campos electromagnéticos en el entorno del cableado situado en las zanjas y en la transición hasta el transformador, todo al cableado, a excepción del cableado de salida del transformador, discurrirá trenzado de manera que los campos eléctricos generados por cada una de las líneas se anulen entre sí.

Según lo indicado en el Real Decreto 1066/2001, en el que se establece las condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitarias frente a emisiones radioeléctricas, decreta que el límite de campo magnético.



Donde se calculara como  $5f$  , siendo  $f$  la frecuencia es kHz. Por tanto, de esta manera el límite del campo electromagnético es  $100 \mu T$ .

*Tabla 2.- Niveles de referencia campo magnético ( RD 1066/2011, cuadro 2)*

**CUADRO 2**

*Niveles de referencia para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (0 Hz-300 GHz, valores rms imperturbados)*

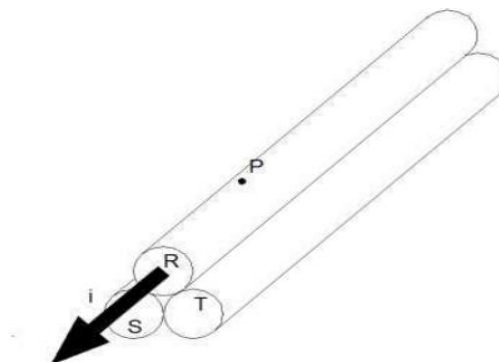
Gama de frecuencia	Intensidad de campo E (V/m)	Intensidad de campo H (A/m)	Campo B ( $\mu T$ )	Densidad de potencia equivalente de onda plana (W/m <sup>2</sup> )
0-1 Hz	—	$3,2 \times 10^4$	$4 \times 10^4$	—
1-8 Hz	10.000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	—
8-25 Hz	10.000	$4.000 / f$	$5.000 / f$	—
0,025-0,8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	—
0,8-3 kHz	$250 / f$	5	6,25	—
3-150 kHz	87	5	6,25	—
0,15-1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	—
1-10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	—
10-400 MHz	28	$0,73 / f$	0,092	2
400-2.000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f / 200$
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

#### 4.2.1.1 Cálculo de campos magnéticos generado por cableado trenzado

El campo magnético creado por el conjunto de tres cables unipolares trenzados de una línea trifásica, en un punto P situado en la parte exterior de la envoltente de uno de los circuitos.

Asimismo, para el calculo se considera que los conductores son rectilíneos y que por ellos pasa una intensidad máxima calculada en función de la instalación en régimen permanente.

*Figura.- 6.Conjunto de tres cables unipolares*



Por tanto, el campo magnético generado por el punto P, será el conjunto de sumatorios de los campos magnéticos generados por cada fase del cableado.



$$B_p = B_{pR} + B_{pS} + B_{pT}$$

Considerando que la corriente está concentrada en el centro del cableado, el campo magnético por cada fase quedaría de la siguiente forma:

$$B_{pR} = \mu_0 \frac{I_R}{2\pi d}$$

$$B_{pS} = \mu_0 \frac{I_S}{2\pi d}$$

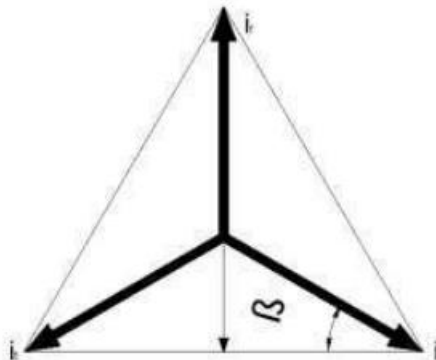
$$B_{pT} = \mu_0 \frac{I_T}{2\pi d}$$

Donde:

- $B_{R,S,T}$ : campo magnético en cada fase (R, S, T)
- $\mu_0$ : permeabilidad del vacío
- $d$ : distancia al punto "p" en metros.
- $I_{R,S,T}$ : intensidad de corriente en cada fase, en A.

Considerando un circuito trifásico equilibrado en el que las tres fases (R, S, T) discurren unidas, se cumple que las tres intensidades de fase ( $I_R, I_S, I_T$ ) forman un sistema equilibrado, es decir, que tienen su mismo valor eficaz y están desfazadas  $120^\circ$  entre sí.

Figura.- 7.Triangulo de fases



Quedando el valor del campo magnético en el punto "p", de la siguiente forma:

$$B_{pR} = \mu_0 \frac{I_R}{2\pi d} = \mu_0 \frac{I}{2\pi d}$$

$$B_{pS} = \mu_0 \frac{I_S}{2\pi d} = -\mu_0 \frac{I_S \cos 60^\circ}{2\pi d} = -\mu_0 \frac{I}{4\pi d}$$

$$B_{pR} = \mu_0 \frac{I_R}{2\pi d} = -\mu_0 \frac{I_T \cos 60^\circ}{2\pi d} = -\mu_0 \frac{I}{4\pi d}$$

Por tanto, el conjunto de sumatorios de los campos magnéticos generados por cada fase del cableado sería:

$$B_p = B_{pR} + B_{pS} + B_{pT} = \mu_0 \frac{I}{2\pi d} - \mu_0 \frac{I}{4\pi d} - \mu_0 \frac{I}{4\pi d} = 0$$

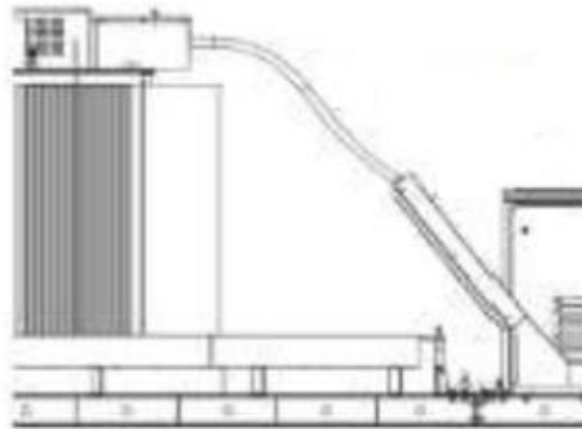


Según lo indicado anteriormente, se puede concluir que el campo magnético creado en un punto "p" por un circuito trifásico equilibrado en el que las fases R, S, y T discurren unidas es nulo.

#### 4.2.1.2 Cálculo de campos magnéticos generado por cableado en transformador

El cableado que va desde las celdas de media tensión hasta la envolvente que protege la terna del cable, desde el final de la envolvente hasta finalizar en los bornes del transformador del centro de transformación, donde cada fase está separada una distancia.

*Figura.- 8.Cableado trenzado*



El centro de transformación tiene los puentes de media tensión transformador un apantallamiento metálico que provocara un campo magnético generado por los mismos. El caso más desfavorable, es aquel en que la producción de campos magnéticos será en los puentes de media tensión del transformador hacia las celdas.

Para el cálculo y análisis del campo magnético, se tendrá en cuenta la una intensidad máxima admisible que pasa por el cableado:

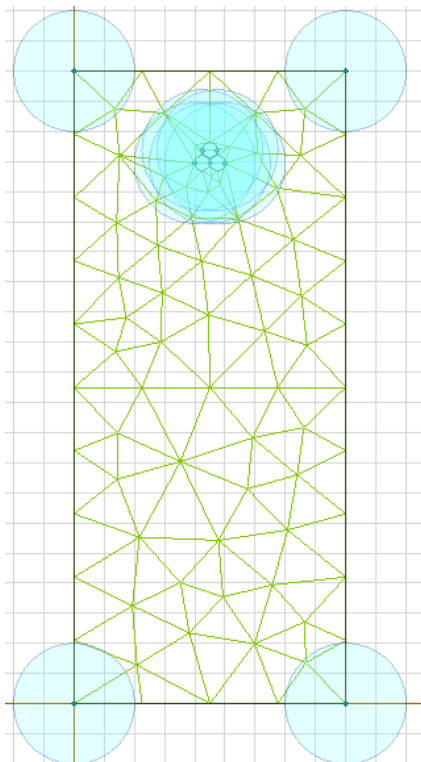
$$I_s = \frac{S}{U_s * \sqrt{3}} = \frac{2500}{20 * \sqrt{3}} = 72,16 A$$

Donde:

- $I$  : Intensidad en el secundario en A
- $S$  :Potencia del transformador en kVa
- $U$  : Tensión en el secundario en kV

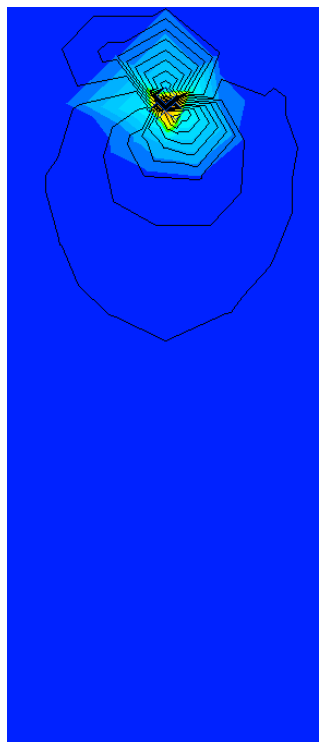


*Figura.- 9. Disposición ternas de cables*



A través de isolíneas y diagrama de colores se presentan los niveles de campo eléctrico del conductor.

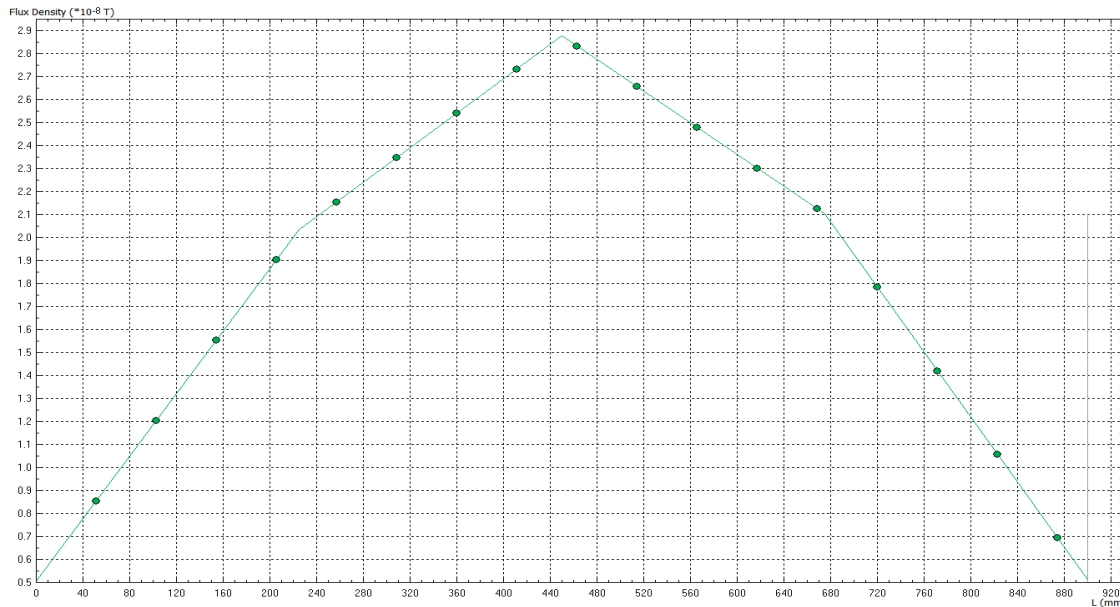
*Figura.- 10. Inducción magnética calculada*





En la gráfica siguiente se representa la curva con los valores del campo B en la zona de mayor inducción en el lado de media tensión de la infraestructura de almacenamiento.

*Figura 20.- Valor Densidad de flujo magnético*



Teniendo en cuenta que en la densidad de flujo magnéticos en los transformadores decrecer rápidamente al alejarse del mismo, los cálculos y análisis realizados se concluye que el valor máximo de la densidad de flujo , estudiado en las condiciones más exigentes de carga y configuración propia de los conductores, se sitúa en torno a los  $2,85 \cdot 10^{-8}T$ .

### 4.3 CONCLUSIONES

Respecto a los cálculos y la simulación realizados en el centro de transformación, se aprecia que la exposición a campos electromagnéticos de muy baja intensidad, en concreto,  $0,0285 \mu T$ . Por tanto, en relación con las máquinas herramientas, se puede decir igualmente que los valores de campos magnéticos son muy bajos en relación con sus respectivos valores de referencia.

Por tanto, considerando que los efectos sobre el cuerpo humano derivados de la exposición a campos electromagnéticos son inmediatos y se descartan actualmente efectos a largo plazo, de forma general, las exposiciones a campos magnéticos son muy inferiores a los valores límites establecidos en el Real Decreto 1066/2001, ya referenciado.

Asimismo, la planta fotovoltaica se encuentra alejada de núcleos de población, por lo que la afección a estos es nula, estando además las estaciones de potencia repartidas por el campo solar y, en cualquier caso, alejadas del vallado perimetral por lo que la afectación a personas en tránsito por el exterior de la planta también se considera despreciable.

Avd. de la Constitución,  
34 1º  
41001 Sevilla, España  
+34 955 265 260

Avda. de España,  
18 -2º ofic 1-A  
10001 Cáceres, España

Paseo de la Castellana,  
52 Planta 1, Puerta  
derecha  
28046 Madrid, España

Cra 12 #79-50 Ofi 701  
Bogotá, Colombia  
+57 318 683 4840

[WWW.INGENOSTRUM.COM](http://WWW.INGENOSTRUM.COM)



**ingenostrum.**

Executing your renewable vision