

ESTUDIO DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE UNA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA DENOMIONADA “FV CEDILLO”, DE 374,9 MW DE POTENCIA INSTALADA, EN LA LOCALIDAD DE CEDILLO Y HERRERA DE ALCANTARA (CÁCERES).



Promotor: Iberenova Promociones, S.A.U.

Badajoz, septiembre 2020.

Autor: Francisco Martín Acuña.

Versión	Fecha	Motivo de la actuación	Elaboración	Revisado	Aprobado
1	02/10/2020	Creación de documento	CC	FL	FL

Tabla 1. Tabla control de documento.

INDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	2
1.1	Promotor.....	2
1.2	Ingeniería.....	2
1.3	Objeto del estudio.....	2
2	NORMATIVA VIGENTE.....	3
3	DEFINICIÓN Y FUENTES DE CAMPOS ELECTROMAGNETICOS.....	4
4	LIMITES DE EXPOSICIÓN A LAS EMISIONES.....	7
5	NIVELES DE REFERENCIA.....	8
6	VALORES DE CAMPOS MAGNÉTICOS EN LÍNEAS ELÉTRICAS.....	9
7	INVENTARIO DE POTENCIALES RECEPTORES DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.....	10
8	ESTUDIO DE CAMPOS ELECTROMAGNETICOS.....	11
8.1	Subestación.....	11
8.2	Transformadores de la planta.....	13
9	CONCLUSIÓN.....	15
10	PLANOS.....	16

1 INTRODUCCIÓN.

El presente Proyecto denominado “FV Cedillo”, consiste en la ejecución de una planta de generación con tecnología fotovoltaica de 374,9 MW de potencia instalada.

1.1 PROMOTOR.

Se redacta por encargo de la empresa Iberenova Promociones S.A.U., con C.I.F. A-82104001, y domicilio a efectos de notificación en C/ Tomás Redondo nº1, 28033 Madrid, como promotora de las instalaciones.

- Denominación social: Iberenova Promociones S.A.U.
- CIF.: A-82104001.
- Dirección social: Calle Tomás Redondo nº1, 28033 Madrid.
- Persona de contacto: Nicolás Antón García.

Actúa en su representación D. Nicolás Antón García, con número de identificación 05.425.598-J.

1.2 INGENIERÍA.

Redacta el presente proyecto ECOINGENIERÍA DEL GUADIANA S.L. mediante el técnico que suscribe Francisco Martín López Acuña, Ingeniero Técnico Industrial colegiado en el Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de Badajoz con el número 873, con domicilio en Paseo Fluvial nº15-9ª Planta Edificio Badajoz Siglo XXI.

- INGENIERIA: ECOINGENIERÍA DEL GUADIANA S.L.
- CIF: B-06557532
- TÉCNICO REDACTOR: Francisco Martín López Acuña.
- TITULACIÓN: Ingeniero Técnico Industrial.

1.3 OBJETO DEL ESTUDIO

El objeto de este estudio es el estudio y análisis de los campos electromagnéticos que se generan en la planta fotovoltaica debido a los componentes que la forman, como son los centros de transformación (Power Statations) y la subestación.

2 **NORMATIVA VIGENTE**

La normativa española establece en el Real Decreto 1066/2001, un límite de exposición máximo para el público de 100 microteslas para campos electromagnéticos a la frecuencia de 50 Hz.

Estos valores están basados en la recomendación del Consejo de Europa del 12 de julio de 1999 que a su vez tienen como referencia la guía presentada por la Comisión Internacional para la Protección contra la Radiación no Ionizante (ICNIRP) de 1998. Esta organización no gubernamental, reconocida formalmente por la Organización Mundial de la Salud (OMS), evalúa los resultados de estudios científicos realizados en todo el mundo y elabora unas directrices en las que establece límites de exposición recomendados. En 2010, el ICNIRP publicó recomendaciones nuevas en las cuales se elevó el límite de exposición para el público a 200 microteslas, pero no está previsto ningún cambio en la legislación estatal.

3 DEFINICIÓN Y FUENTES DE CAMPOS ELECTROMAGNETICOS

A continuación, se mostrará el estudio y análisis de los distintos elementos que generan campos electromagnéticos:

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 (1kV/m =1000 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).

Así pues, el campo eléctrico existe siempre que haya cargas eléctricas, mientras que sólo hay campo magnético cuando esas cargas están en movimiento, es decir, cuando hay un flujo de corriente eléctrica. Es más habitual representar el campo magnético mediante la inducción magnética o densidad de flujo magnético **B**.

Este término se relaciona con **H** mediante la permeabilidad magnética μ .

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}.$$

La unidad de medida del campo magnético en el Sistema Internacional de unidades es el Tesla (T) o sus fracciones, en particular el microtesla (μT). En algunos países se utiliza también el Gauss.

(G). Las equivalencias son las siguientes:

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

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

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

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.

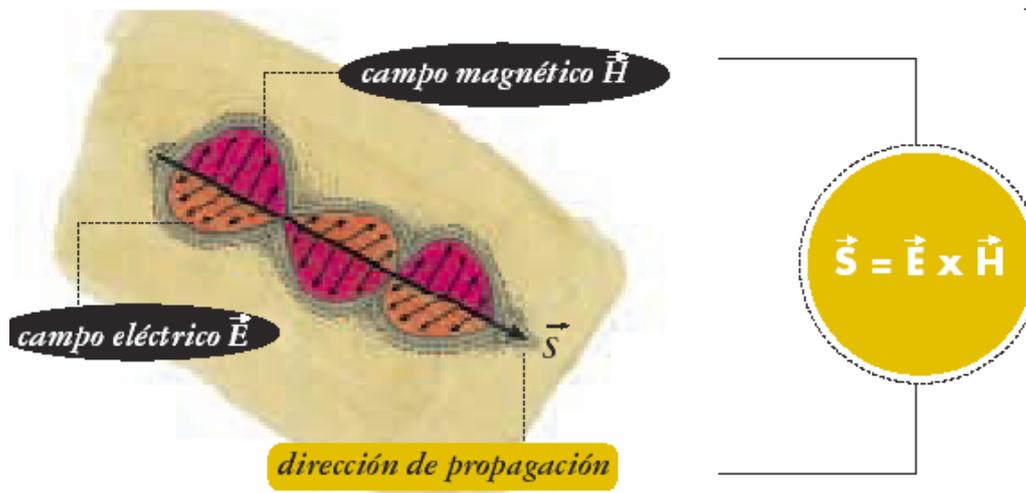


Imagen 1. Propagación de los campos eléctricos y magnéticos. Vector de Poynting.

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.

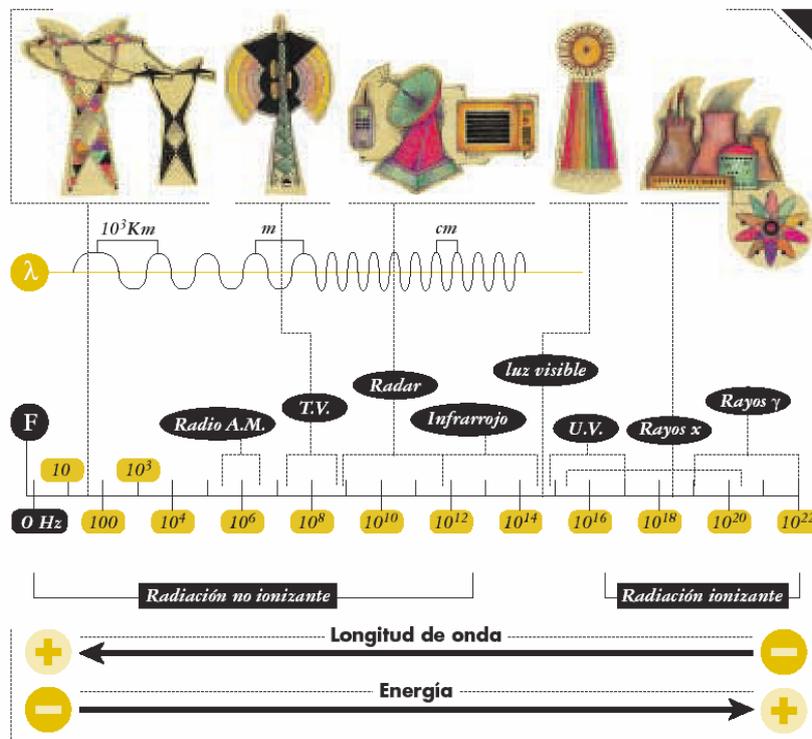


Imagen 2. Espectro Electromagnético

Como se puede observar el sistema eléctrico funciona a una frecuencia extremadamente baja 50 Hz, lo que se denomina 'frecuencia industrial', 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 (como lo hacen, por ejemplo, las ondas de radio), 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 μT en el ecuador magnético (30 μT en el geográfico) hasta aproximadamente 67 μT en los polos. En España el campo magnético estático natural está alrededor de 40 μT .

4 LIMITES DE EXPOSICIÓN A LAS EMISIONES

Según el Artículo 6 del citado RD 1066/2001, se aplicarán los límites de exposición que figuran en el anexo II. Los límites establecidos se cumplirán en las zonas en las que puedan permanecer habitualmente las personas y en la exposición a las emisiones de los equipos terminales.

Restricciones básicas. Dependiendo de la frecuencia, se emplearán las siguientes cantidades físicas:

- a) Entre 0 y 1 Hz se proporcionan restricciones básicas de la inducción magnética para campos magnéticos estáticos (0 Hz) y de la densidad de corriente para campos variables en el tiempo de 1 Hz, con el fin de prevenir los efectos sobre el sistema cardiovascular y el sistema nervioso.
- b) Entre 1 Hz y 10 MHz se proporciona restricciones básicas de la densidad de corriente para prevenir los efectos sobre las funciones del sistema nervioso. Este es el ámbito de aplicación de nuestro estudio ya que la frecuencia de la corriente generada son 50 Hz.

Según el Cuadro 1 del anexo II, las restricciones básicas para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos dentro del ámbito de la instalación estudiada es el siguiente:

Gama de frecuencia	Inducción magnética (mT)	Densidad de corriente (mA/m ²) rms	SAR medio de cuerpo entero (W/kg)	SAR localizado (cabeza y tronco W/kg)	SAR localizado (miembros) (W/kg)	Densidad de potencia S (W/m ²)
4-1.000 Hz	-	2	-	-	-	-

Tabla 2. Restricciones básicas

5 NIVELES DE REFERENCIA

Los niveles de referencia para limitar la exposición se obtienen a partir de las restricciones básicas, presuponiendo un acoplamiento máximo del campo con el individuo expuesto, con lo que se obtiene un máximo de protección.

El cuadro 2, del Anexo II, establece los niveles de referencia para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos, siendo los valores de referencia para nuestro estudio los siguientes:

Gama de frecuencia	Intensidad de campo E (V/m)	Intensidad de campo H (A/m)	Campo B (μ T)	Densidad de potencia equivalente de onda plana (W/m ²)
0,025-0.8 kHz	250/f	4/f	5/f	-

Tabla 3. Niveles de referencia para campos.

La densidad de flujo magnético o inducción magnética es una magnitud vectorial (B) que da lugar a una fuerza que actúa sobre cargas en movimiento, y se expresa en (T). En espacios libre y en materiales biológicos, la densidad de flujo o inducción magnética y la intensidad de campo magnético se pueden intercambiar utilizando la equivalencia de $1 \text{ A/m} = 4\pi 10^{-7} \text{ T}$.

En nuestro ámbito de estudio la $f = 50 \text{ Hz}$. La intensidad de campo $H = 4/50 = 0,08 \text{ (A/m)}$.

Pasaremos el valor de A/m a Teslas utilizando la equivalencia anterior. Por lo tanto, el valor de $H = 0,08 \times 4\pi 10^{-7} = 100 \mu\text{T}$.

Por lo tanto $100 \mu\text{T}$ es el valor máximo de Intensidad de campo H permitido según el Real Decreto.

Pasaremos a continuación a comprobar que los valores que se obtienen en nuestro estudio son sensiblemente inferiores a los de la norma.

6 VALORES DE CAMPOS MAGNÉTICOS EN LÍNEAS ELÉTRICAS

La intensidad de campo magnético de fondo de 50 Hz en zonas no urbanizadas suele oscilar en torno a $0,01 \mu\text{T}$.

En la Imagen 3 se han representado dos líneas eléctricas de alta tensión (400 y 132 kV) y dos de media tensión en dos versiones, 20 kV (con cable desnudo) y 13 kV (con cable aislado y trenzado).

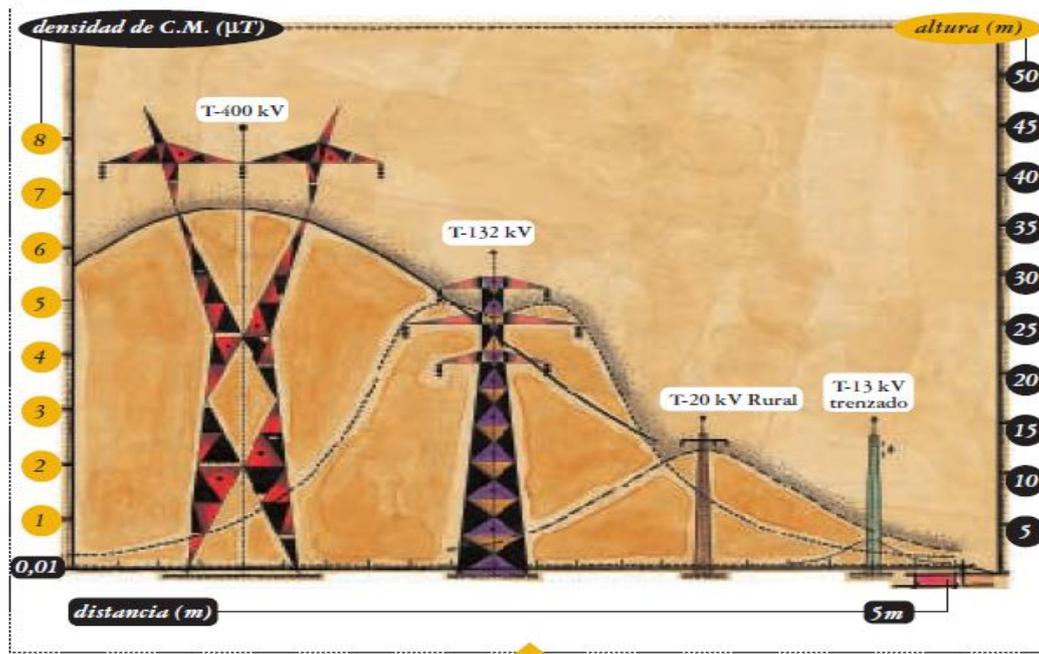


Imagen 3. Líneas eléctricas aéreas.

Se puede observar en esta imagen y para la línea de 400 kV como la intensidad mayor del Campo Magnético se produce bajo la línea a 0 metros de distancia siendo su valor de $6,6 \mu\text{T}$ y además su valor disminuye de forma muy rápida con la distancia siendo los valores muy reducidos.

7 INVENTARIO DE POTENCIALES RECEPTORES DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

A continuación, se adjunta una tabla donde se pueden identificar los potenciales receptores de los campos electromagnéticos generados por los elementos que componen la planta fotovoltaica. Ambas edificaciones tienen, actualmente, un uso agrícola y, aunque se vaya a realizar la instalación de una planta fotovoltaica, el uso futuro seguirá siendo el mismo:

Numeración	Polígono	Parcela	Ref. Catastral	Distancia mínima al foco (m)	Valor del campo magnético (μ T)
Edificación_1	8	1	10063A008000010000EF	182,75	0
Edificación_2	7	3	10063A007000030000EJ	152,16	0

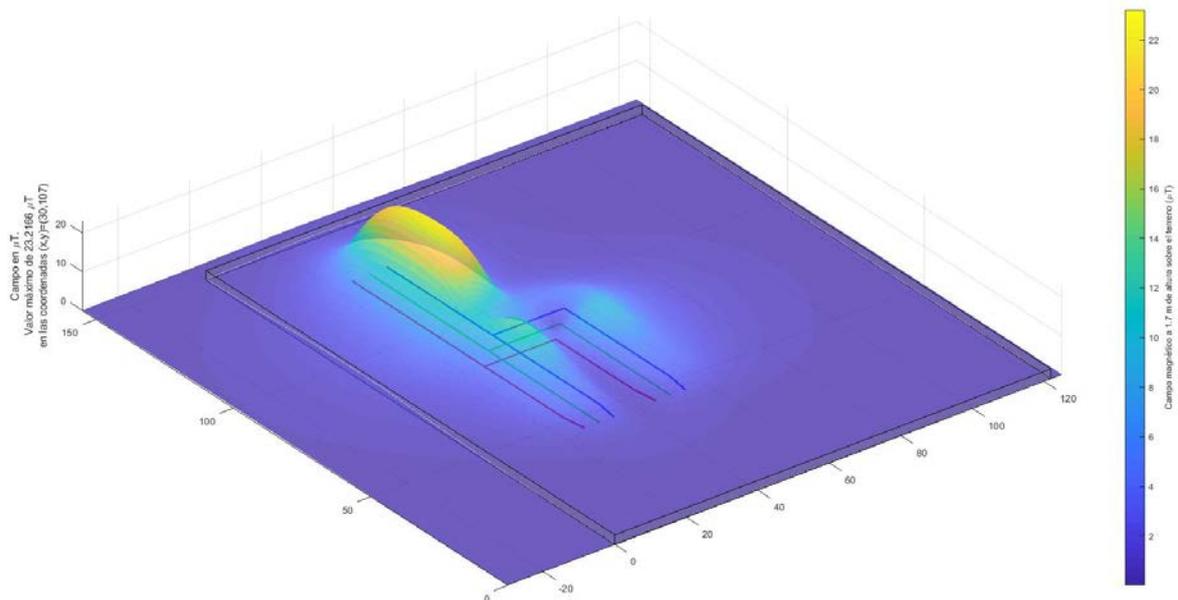
8 ESTUDIO DE CAMPOS ELECTROMAGNETICOS

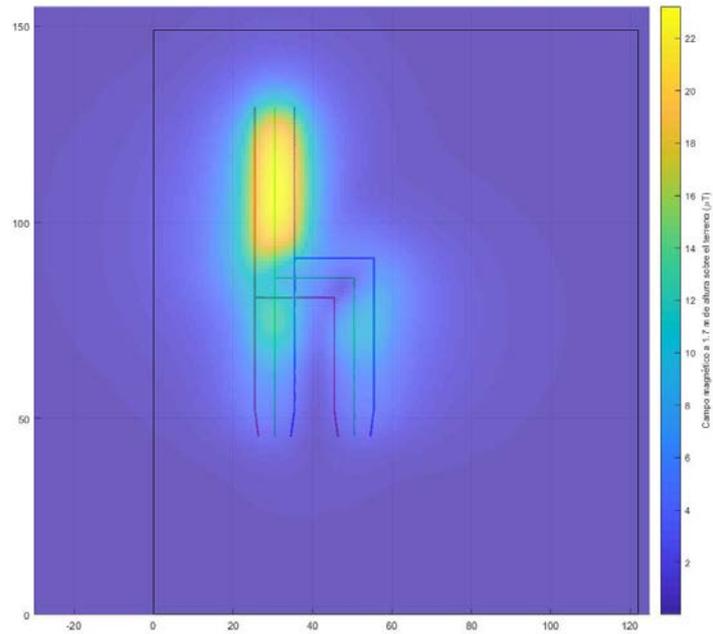
A continuación, se mostrará el estudio y análisis de los distintos componentes generadores de campos electromagnéticos en la planta solar fotovoltaica.

8.1 SUBESTACIÓN

En este apartado se va a tener en cuenta dos configuraciones. La primera de ellas es teniendo en cuenta únicamente los transformadores que corresponden a la planta a la que se está realizando el estudio (FV Cedillo) y, a continuación, mostraremos los resultados del análisis realizado a la subestación completa, es decir, teniendo en cuenta también el transformador que se encuentra en dicha subestación pero que pertenece a otra planta fotovoltaica (FV Majada Alta y San Antonio).

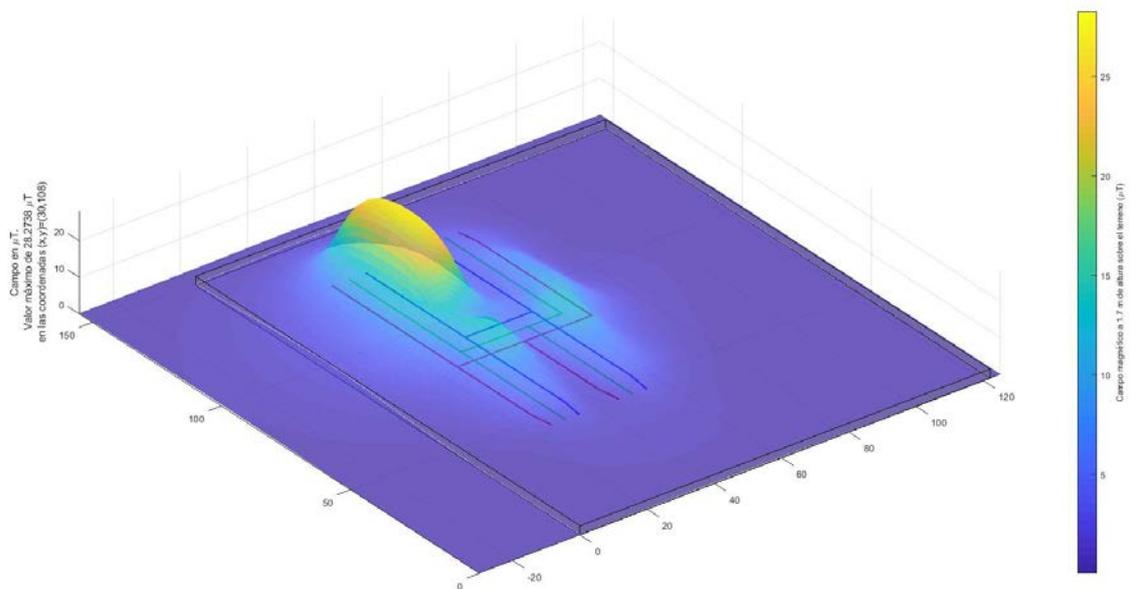
Introduciendo los datos necesarios en el software de cálculo de campos electromagnéticos obtenemos para el primer caso (teniendo en cuenta únicamente los dos transformadores que corresponde a la planta FV Cedillo) la siguiente imagen:

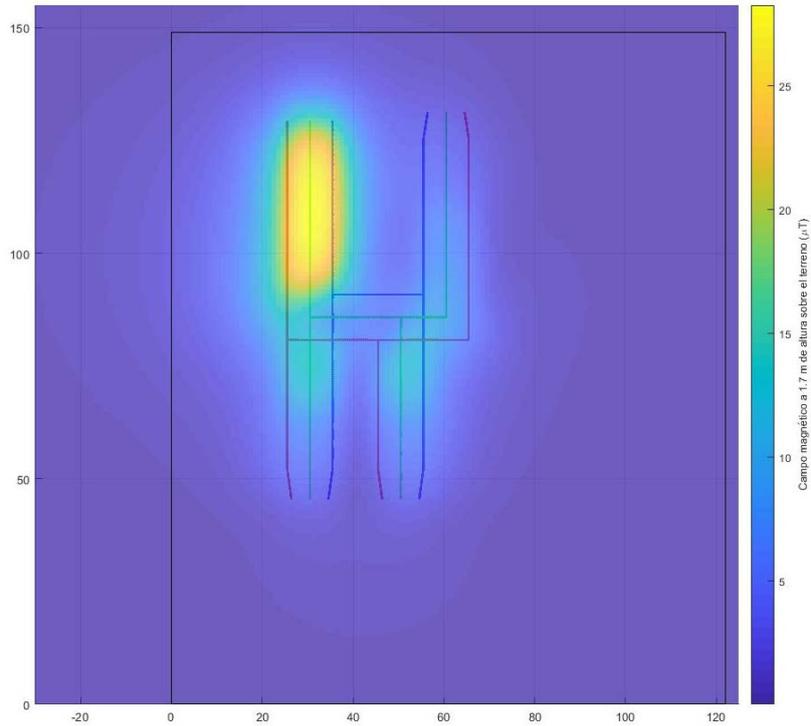




Como se puede apreciar en las imágenes anteriores, el valor máximo de microteslas que se genera en la subestación es de 23,21 μT . Este valor se encuentra muy por debajo del límite establecido en el Real Decreto 1066/2001, el cual indica que el límite se encuentra en 100 microteslas.

A continuación, se analiza la misma subestación teniendo en cuenta la existencia de otro transformador que pertenece a la planta solar fotovoltaica de Majada Alta y San Antonio. Una vez introducidos los datos en el software obtenemos las siguientes imágenes:



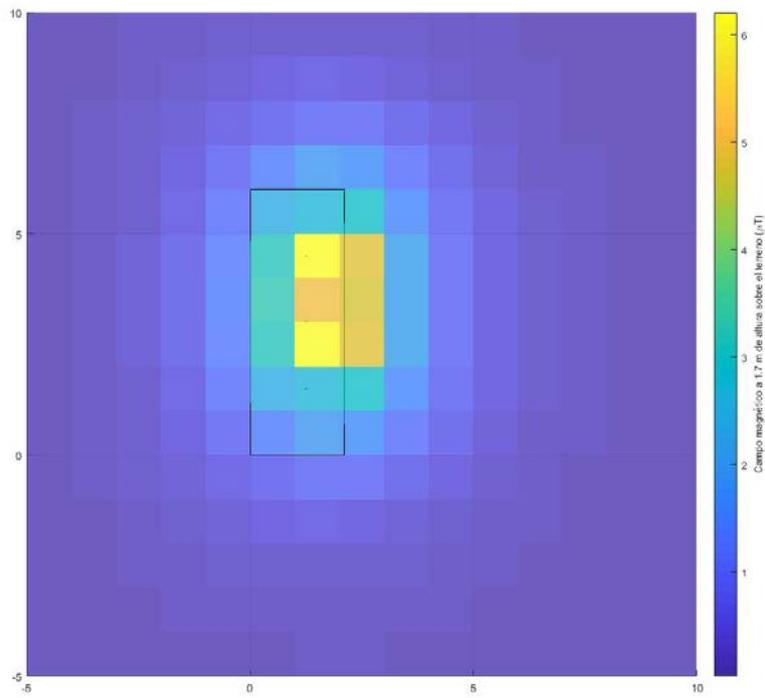
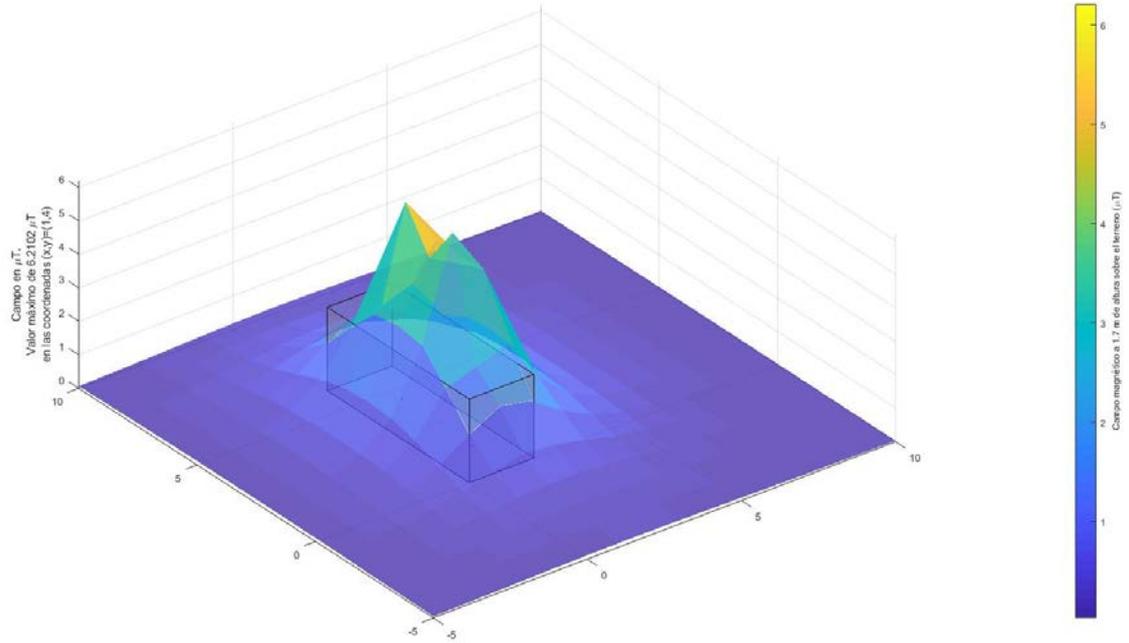


Como se puede apreciar en las imágenes anteriores, el valor máximo de microteslas que se genera en la subestación es de 28,27 μT . Este valor se encuentra muy por debajo del límite establecido en el Real Decreto 1066/2001, el cual indica que el límite se encuentra en 100 microteslas.

8.2 TRANSFORMADORES DE LA PLANTA

En este punto se analizará los campos electromagnéticos generados por las Power Stations que están repartidas a lo largo de la planta fotovoltaica.

Introducidos los datos de la Power Station en el software obtenemos los siguientes resultados: el pico más alto, es decir, el valor mas alto de campo magnético generado por las Power Station es de 6,21 μT y, como se puede observar en las imágenes que se adjuntan a continuación, ese campo se desvanece a los pocos metros.



9 CONCLUSIÓN.

Como conclusión, se puede afirmar que los campos electromagnéticos generados por la subestación eléctrica y las Power Station que están repartidas a lo largo de la planta no generan un impacto significativo sobre las edificaciones cercanas a estas instalaciones.

Por otro lado, hay que destacar que, en la subestación, los campos electromagnéticos de mayor intensidad se encuentran en aquellos puntos donde los conductores se encuentran mas cercanos al suelo y por donde mas intensidad circula por sus conductores.

Badajoz, octubre de 2.020

Fdo: Francisco Martín López Acuña

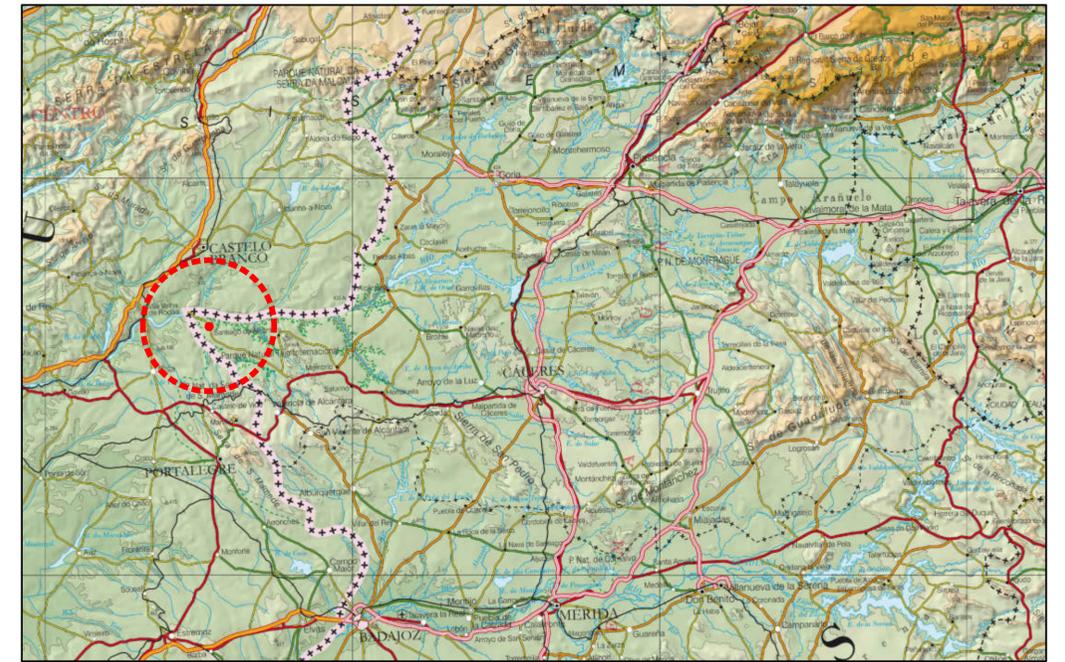
Nº de Colegiado: 873

10 PLANOS.

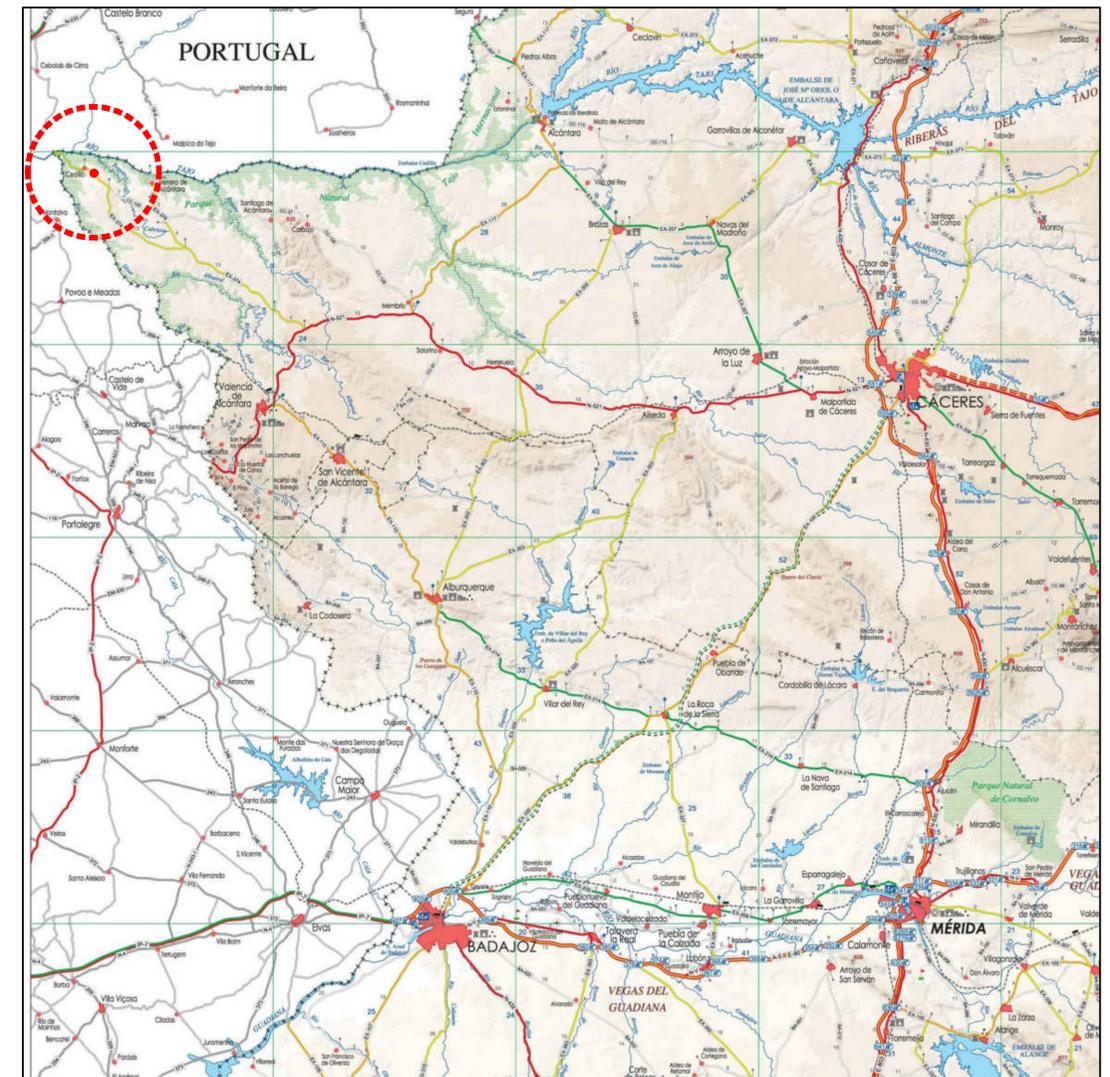
- | | |
|------|---|
| 17.1 | Situación y emplazamiento |
| 17.2 | Estudio electromagnético en planta (I) |
| 17.3 | Estudio electromagnético en planta (II) |
| 17.4 | Estudio electromagnético en subestación:
transformadores planta Cedillo |
| 17.5 | Estudio electromagnético en subestación:
Transformadores planta Cedillo, Majada Alta y San
Antonio. |



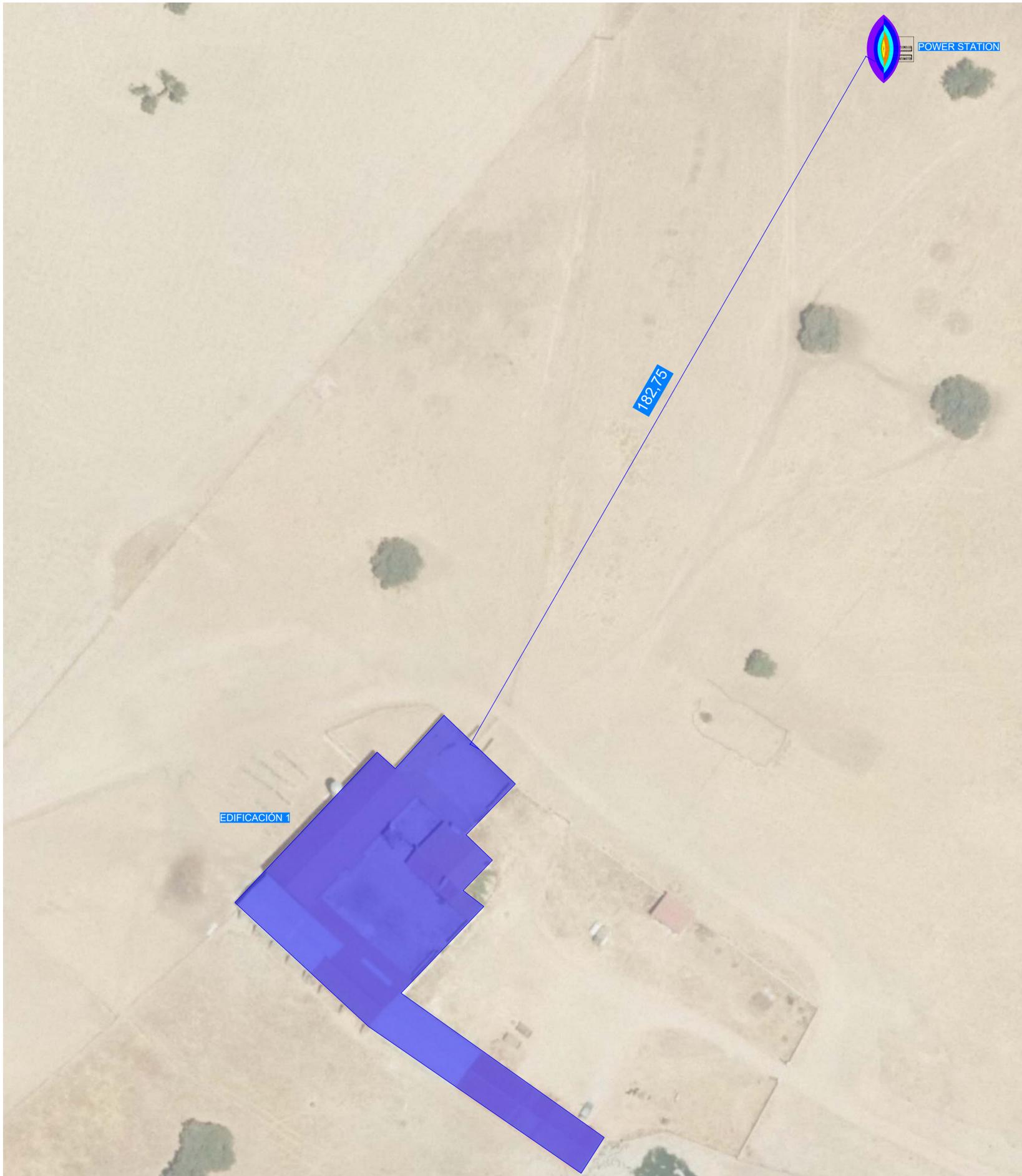
EMPLAZAMIENTO
escala 1/20.000



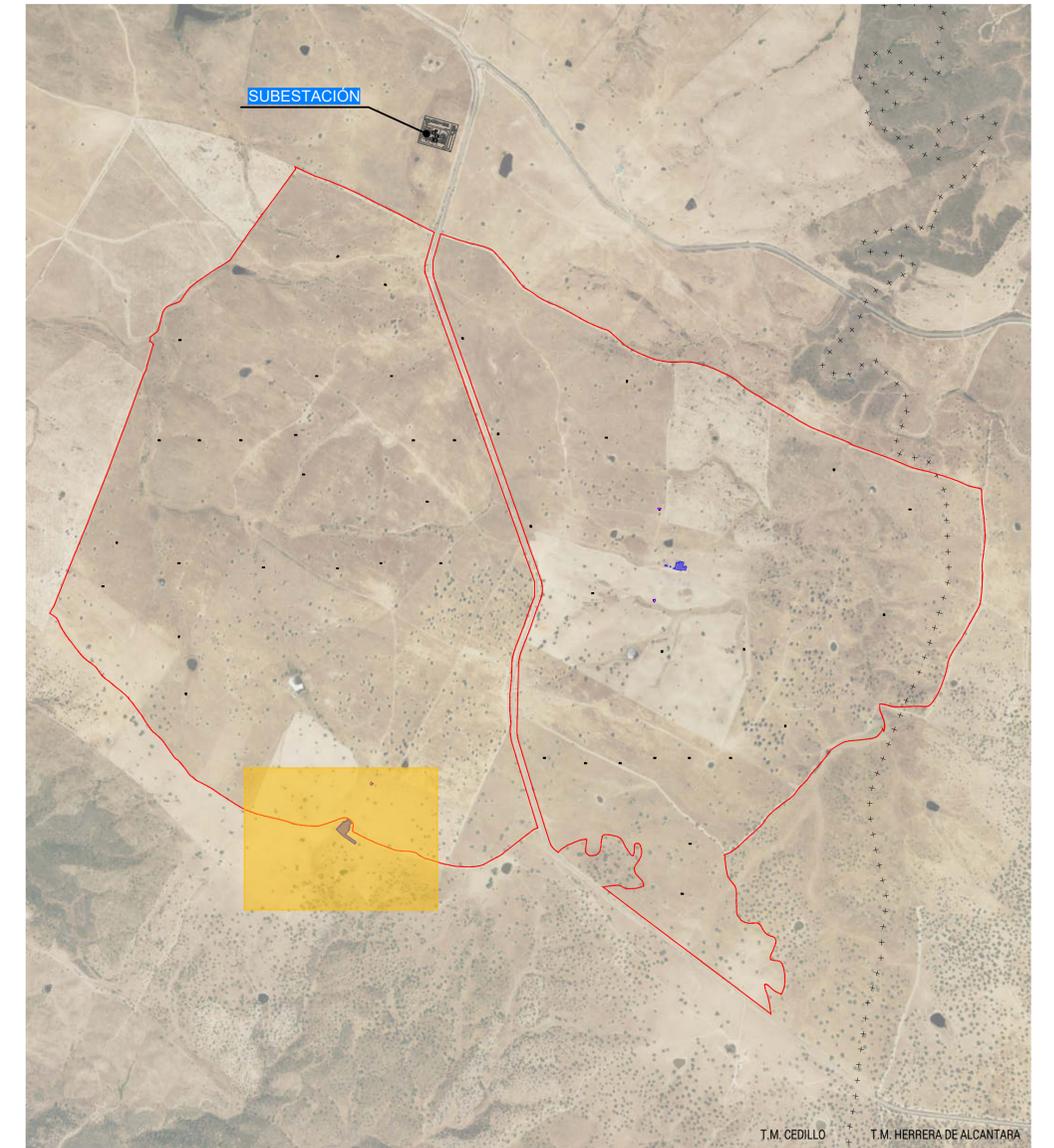
SITUACION
s/e



LOCALIZACION
s/e



EDIFICACIÓN 1
escala 1/200



PLANTA GENERAL
escala 1/20.000

COLOR	VALORES COMPRENDIDOS ENTRE: (μT)
Yellow	5.3 y 6.2
Orange	4.3 y 5.3
Green	3.0 y 4.3
Cyan	1.5 y 3.0
Blue	0.2 y 1.5
Purple	0 y 0.2

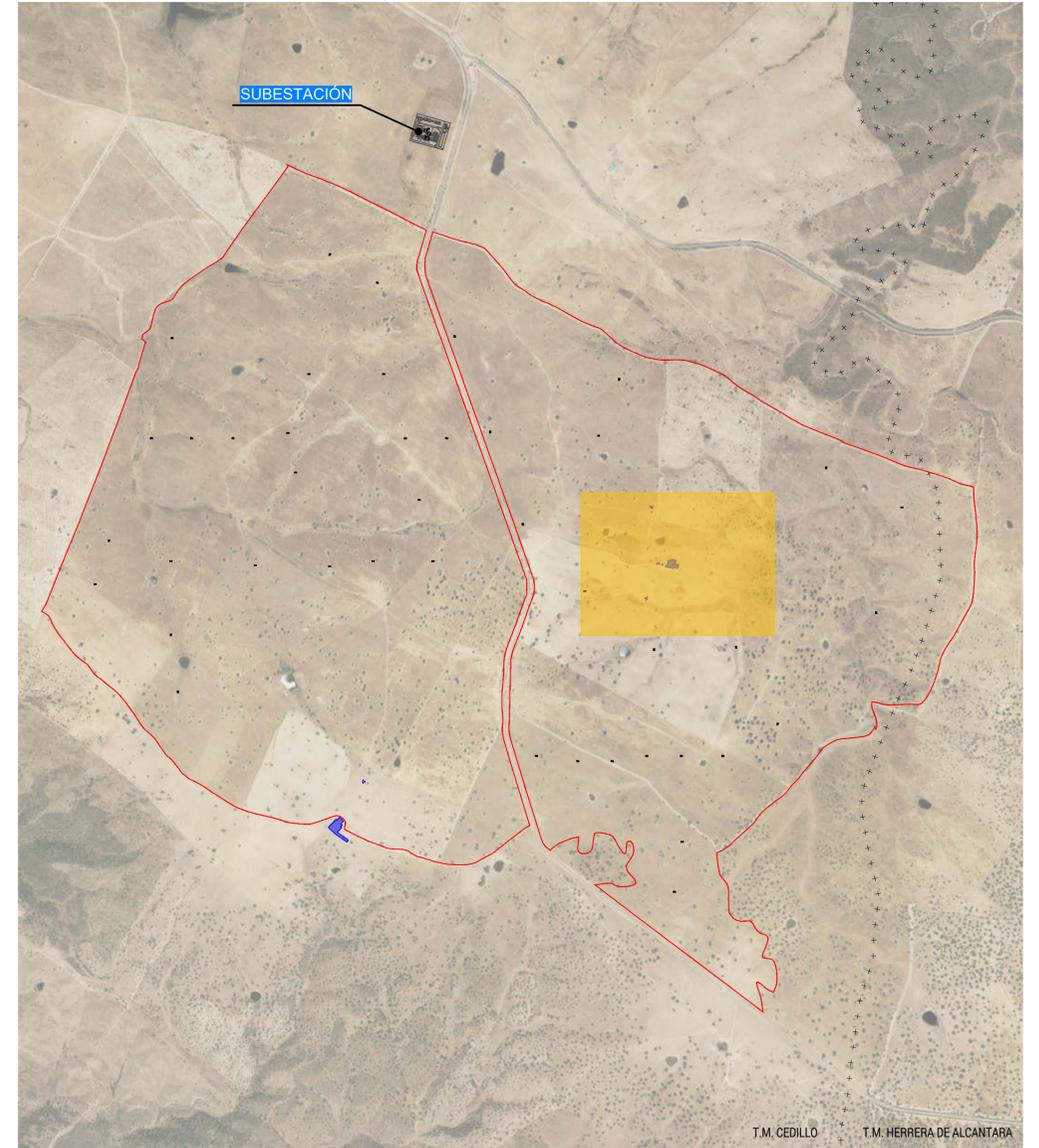
CAMPO MAGNÉTICO A 1.7m DE ALTURA SOBRE EL TERRENO (μT)

EDIFICACIONES

PROMOTOR:	IBERNOVA PROMOCIONES, S.A.U.		PLANO Nº
PLANO:	ESTUDIO ELECTROMAGNÉTICO EN PLANTA (I)		17.2
	ecoEnergías del Guadiana	FECHA: Octubre de 2020	ESCALA: IND.
	CODIGO: CED-18-01-1020-01-PL02		



EDIFICACIÓN 2
escala 1/400



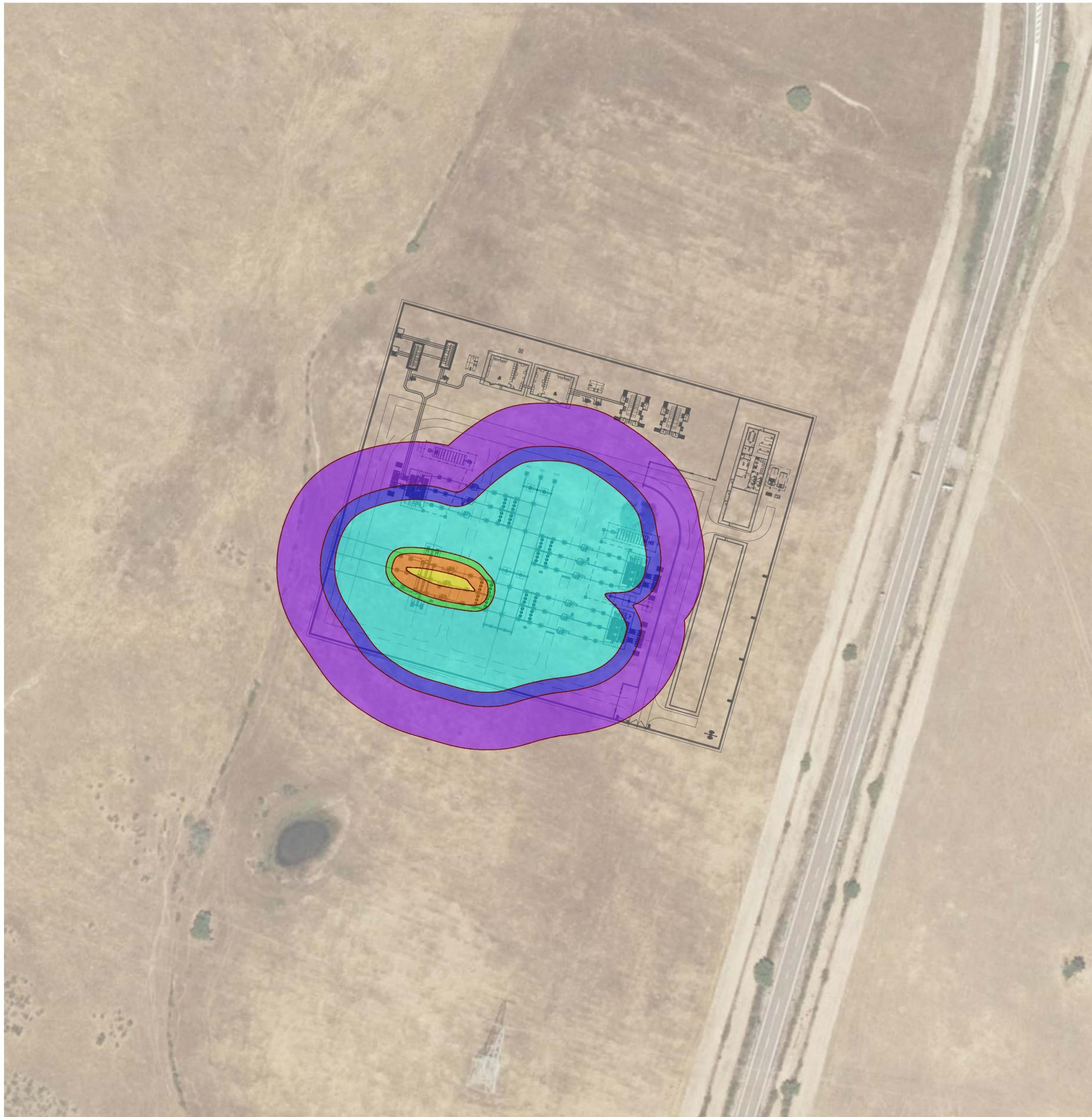
PLANTA GENERAL
escala 1/20.000

COLOR	VALORES COMPRENDIDOS ENTRE: (µT)
Yellow	5,3 y 6,2
Orange	4,3 y 5,3
Green	3,0 y 4,3
Cyan	1,5 y 3,0
Blue	0,2 y 1,5
Purple	0 y 0,2

CAMPO MAGNÉTICO A 1.7m DE ALTURA SOBRE EL TERRENO (µT)

EDIFICACIONES

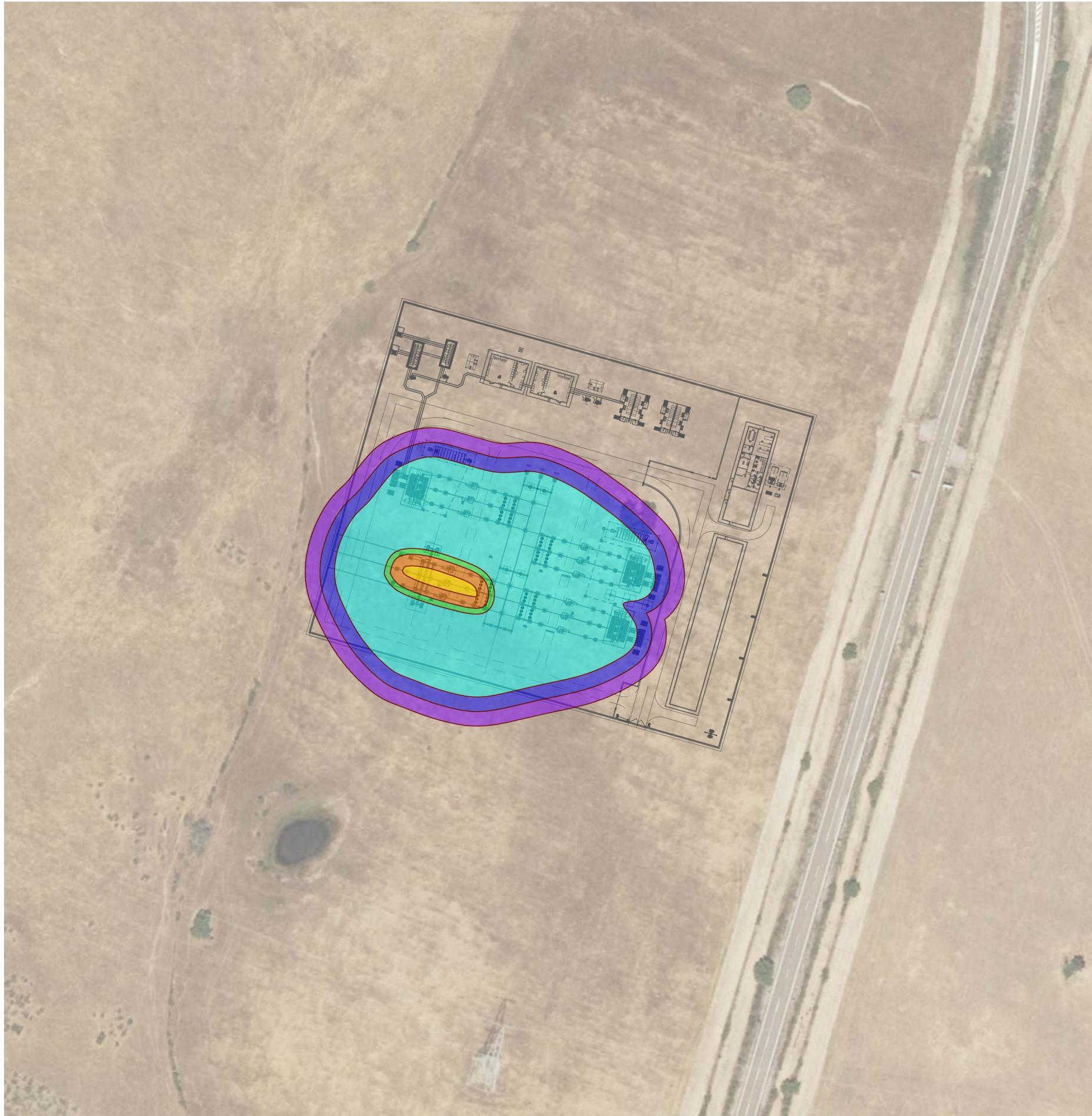
PROMOTOR:	IBERNOVA PROMOCIONES, S.A.U.		PLANO Nº
PLANO:	ESTUDIO ELECTROMAGNÉTICO EN PLANTA (II)		17.3
	ecoEnergías del Guadiana	FECHA: Octubre de 2020	ESCALA: IND.
	CODIGO: CED18-01-1020-01-PL03		



COLOR	VALORES COMPRENDIDOS ENTRE: (μT)
Yellow	20 y 22
Orange	16 y 20
Green	13 y 16
Cyan	6 y 13
Blue	1 y 6
Purple	0 y 1

CAMPO MAGNÉTICO A 1.7m DE ALTURA SOBRE EL TERRENO (μT)

PROMOTOR:	IBERENVA PROMOCIONES, S.A.U.		PLANO Nº
PLANO:	ESTUDIO ELECTROMAGNÉTICO EN SUBESTACIÓN: TRANSFORMADORES PLANTA CEDILLO		17.4
 ecoEnergías del Guadiana	FECHA:	Octubre de 2020	ESCALA:
	CODIGO:	CED-18-01-1020-01-PL04	1/1000



COLOR	VALORES COMPRENDIDOS ENTRE: (μ T)
Yellow	25 y 27
Orange	20 y 25
Green	13 y 20
Cyan	6 y 13
Blue	2 y 6
Purple	0 y 2

CAMPO MAGNÉTICO A 1.7m DE ALTURA SOBRE EL TERRENO (μ T)

PROMOTOR:	IBERENVA PROMOCIONES, S.A.U.		PLANO Nº
PLANO:	ESTUDIO ELECTROMAGNÉTICO EN SUBESTACIÓN: TRANSFORMADORES PLANTA CEDILLO, MAJADA ALTA Y SAN ANTONIO		17.5
 ecoEnergías del Guadiana	FECHA: Octubre de 2020	ESCALA: 1/500	CODIGO: CED-18-01-1020-01-PL05