

ESTUDIO BÁSICO ELECTROMAGNÉTICO

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE BATERÍAS (BESS) STAND-ALONE, INFRAESTRUCTURA MEDIA TENSIÓN Y LINEA DE EVACUACION DE LA AGRUPACIÓN AGUSTI BESS

EMPLAZAMIENTO: Poligono 2 Parcela 31, Camí del Reis nº2, T.M. Palma, Illes Balears
PROMOTOR:

Carpeta	SOCIEDAD	CIF	AGRUPACIÓN	NOMBRE PROYECTO	POTENCIA AYC(MW)
294	Polaris Batteries V SL	B56384035	AGUSTI 1	BESS POLARIS V 294	9,2
296	Sirius Batteries VI SL	B56384365	AGUSTI 2	BESS SIRIUS VI 296	4,6
298	Sirius Batteries VIII SL	B56383706	AGUSTI 2	BESS SIRIUS VIII 298	4,6
297	Sirius Batteries VII SL	B56383755	AGUSTI 4	BESS SIRIUS VII 297	4,6
301	Capella Batteries II SL	B56384027	AGUSTI 4	BESS CAPELLA II 301	2
302	Capella Batteries III SL	B56384043	AGUSTI 4	BESS CAPELLA III 302	2
299	Sirius Batteries IX SL	B56383789	AGUSTI 5	BESS SIRIUS IX 299	2
300	Capella Batteries I SL	B56384019	AGUSTI 5	BESS CAPELLA I 300	2
303	Capella Batteries IV SL	B56384050	AGUSTI 5	BESS CAPELLA IV 303	2
304	Capella Batteries IX SL	B56384399	AGUSTI 5	BESS CAPELLA IX 304	2
305	Capella Batteries V SL	B56384076	AGUSTI 5	BESS CAPELLA V 305	2

TÉCNICOS REDACTORES:

Jaime Sureda Bonnin
(Col. 700 –
C.O.E.T.I.B.)

Gonzalo García Uriarte
(Col. 879 – C.O.E.I.B.)

Angel Lacleta Barrera
(Col. 26827 – C.E.B.)



técnicos
consultores

0.	<u>RELACIÓN DE CONCEPTOS Y ABREVIATURAS</u>	<u>2</u>
1.	<u>GENERALIDADES</u>	<u>3</u>
1.1.	ANTECEDENTES.....	3
1.2.	OBJETO	3
1.3.	DESCRIPCIÓN BÁSICA DE LA INSTALACIÓN.....	3
1.4.	NOMBRE Y TIPO DE LA CENTRAL.....	4
1.5.	TÉCNICOS RESPONSABLES.....	4
2.	<u>NORMATIVA APLICABLE</u>	<u>5</u>
3.	<u>EMPLAZAMIENTO DE LA INSTALACIÓN</u>	<u>6</u>
3.1.	EMPLAZAMIENTO.....	6
3.1.	IMPLANTACIÓN DEL PROYECTO	7
4.	<u>ESTUDIO DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS.....</u>	<u>8</u>
4.1.	INTRODUCCIÓN	8
4.2.	CÁLCULO DEL CAMPO MAGNÉTICO	9
4.3.	CÁLCULO DEL CAMPO MAGNÉTICO GENERADO POR UN CABLE DE MEDIA TENSIÓN.....	10
5.	<u>LIMITACIÓN DE CAMPOS MAGNÉTICOS</u>	<u>12</u>
5.1.	CRITERIOS DE EVALUACIÓN.....	12
5.2.	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS PARA VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO.....	12
5.3.	CUMPLIMIENTO NORMATIVO	12
5.4.	CONDICIONES DE DISEÑO.....	13
6.	<u>CONCLUSIONES</u>	<u>14</u>

RELACIÓN DE IMÁGENES

Imagen 1.	Detalle del catastro con las parcelas destinadas a almacenamiento.	6
Imagen 2:	Implantación	7
Imagen 3.	Campo electromagnético generado por un conductor rectilíneo	8
Imagen 4.	Corriente electromagnética sobre plano	9
Imagen 5.	Niveles de referencia para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (25Hz-800Hz)	10
Imagen 6.	Terna de cableado MT	10
Imagen 7.	Desfase de intensidades.....	11

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1.	Dirección, referencia catastral y superficie del emplazamiento del sistema de almacenamiento	6
----------	--	---

0. RELACIÓN DE CONCEPTOS Y ABREVIATURAS

AC: Alternating Current. Corriente alterna.

BMS: Battery management system. Sistema de gestión y protección a bajo nivel de las series de celdas de baterías.

BESS: Battery electricity storage system. Sistema de almacenamiento de electricidad por medio de baterías.

Ratio C: Tasa de carga o descarga, dada como la relación entre la corriente de carga o descarga (en A) y la capacidad útil de la batería (en Ah). Tiene unidades de inversa de tiempo (h^{-1}).

DC: Direct Current. Corriente continua.

DoD: Depth of Discharge. Profundidad de descarga, que define los límites de operación de ciclado por la diferencia entre el SOC máximo y el mínimo.

EMS: Energy management system. Sistema de gestión de energía, que incluye monitorización, control, análisis y comunicaciones del sistema.

LFP: Química de baterías de litio hierro fosfato (LiFePO_4).

MITERD: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

O+M: Operación y mantenimiento

PCS: Power conversion system. Electrónica de potencia bidireccional que carga y descarga las baterías.

RTE: Round trip efficiency. Eficiencia total del ciclo completo del sistema de almacenamiento. Incluye las pérdidas químicas y las eléctricas (resistivas y en electrónicas de potencia y transformadores).

SET: Subestación de transformación.

SGEE: Subdirección General de Energía Eléctrica del MITECO.

SOC: State of charge. Estado de carga de las baterías, generalmente medido en % como relación entre la carga acumulada en un momento dado con referencia a la máxima capacidad de carga posible (SOH).

SOH: State of health. Estado de salud de las baterías, que da la capacidad residual de la batería, generalmente dado como un % sobre la capacidad nominal.

SSAA: Servicios auxiliares (ver elementos en Integración).

1. GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

Recientemente, se está observando un despliegue de proyectos de generación eléctrica con energías provenientes de fuentes renovables. Los ambiciosos objetivos de integración de renovables deben necesariamente venir acompañados por medidas encaminadas a cubrir la intermitencia y no gestionabilidad intrínsecas a las fuentes de energía primaria no almacenable. Así lo reconoce la Ley 7/2021, de 21 de mayo, de cambio climático y transición energética, y en especial el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, (PNIEC) 2021-2030, y la Estrategia de Almacenamiento Energético (que está siendo revisada al alza), en el sentido de que el almacenamiento respaldará decisivamente el despliegue de energías renovables y será clave para garantizar la seguridad, calidad, sostenibilidad y economía del suministro. Los sistemas de almacenamiento energético son esenciales para garantizar la transición a una economía neutra en emisiones y la efectiva integración de las energías renovables en el sistema, ya que permiten guardar la energía en los momentos en que hay excedente para utilizarla cuando el recurso renovable es escaso o la demanda es elevada.

En este contexto, y ante el significativo incremento de potencia instalada de nuevos sistemas de generación renovable, en particular energía fotovoltaica, se hace necesaria no solo la hibridación de estas generaciones con almacenamiento, sino también la instalación de sistemas de almacenamiento independientes (Stand-Alone) para permitir gestionar los desfases entre generación y demanda en puntos de la red alejados de la generación a gran escala, pero cercanos al consumo.

1.2. Objeto

En este documento, se presenta la agrupación de los proyectos “**Almacenamiento BESS AGUSTI**” de Sistema de Almacenamiento de Baterías (BESS) Stand-Alone en media tensión a 15 kV y línea de evacuación a 15 kV hasta la subestación de Agustí. Cada proyecto tiene su línea de evacuación independiente pese a tener el mismo recorrido. Se trata de 11 plantas de almacenamiento de electricidad independiente (no vinculada a generación “Stand-Alone”) agrupadas en 4 conexiones.

1.3. Descripción básica de la instalación

La instalación descrita en este proyecto se compone de unos armarios de **baterías de litio hierro fosfato** (LiFePO_4), conectados en DC (corriente continua) a equipos bidireccionales de conversión DC/AC de electrónica de potencia (PCS). Dichos PCS se conectan en MT (15 kV) por medio de unos transformadores de potencia, que pueden ser de simple o doble devanado en el lado de BT, y disponen de celdas para conexión en T del transformador, doble interconexión (en anillo) y aislamiento del mismo aguas abajo. Cada unidad conectada en el lado de media tensión, compuesta por los armarios de baterías, el (o los) PCS(s) y el transformador de potencia, constituye un **Bloque de Almacenamiento**. Por un lado se tiene el sistema de inversor centralizado, que sería la conexión 1, y por otro lado el sistema descentralizado de las conexiones 2, 4 y 5. Para la conexión uno, se tienen dos skid compact dobles conectados a 7 contenedores de 6,25 MWh. Para los sistemas de inversor descentralizado se tienen un total de 26 contenedores con 6 inversores de 210 kVA cada uno y 6 centros de transformadores. En total se tiene una capacidad nominal de almacenamiento de aproximadamente 174,14 MWh. Estos Bloques de Almacenamiento se conectan con línea **subterránea de media tensión (15kV)**, a las celdas del Centro de Maniobra y Medida, CMM, y posteriormente sale la línea de evacuación hasta la SE Agustí.

1.4. Nombre y tipo de la central

- Nombre: *Planta de Almacenamiento “Agrupación de Almacenamiento AGUSTI BESS”*
- Almacenamiento mediante baterías de litio hierro fosfato en stand-alone.

1.5. Técnicos Responsables

Los técnicos facultativos responsables del diseño, dimensionado y legalización de las instalaciones en el mencionado proyecto son:

- Jaume Sureda Bonnin, colegiado nº 700 en el COETIB.
- Gonzalo García Uriarte, colegiado nº879 en COEIB.
- Ángel Lacleta Barrera, colegiado nº26827 en CETIB

Comunicación electrónica:

- Mail: jsureda@tecnicosconsultores.com
- Telf.: 971.835.498

2. NORMATIVA APLICABLE

- **Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre**, sobre protección del dominio público radioeléctrico y restricciones a las emisiones radioeléctricas.
- **Real Decreto 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 14**, en relación con la verificación de los niveles de exposición a campos electromagnéticos.
- **Norma UNE-EN 62271-202**, que establece los métodos válidos de ensayo para la evaluación de campos electromagnéticos en centros de transformación prefabricados de alta/baja tensión.
- **Informe IEC/TR 62271-208**, referente a la metodología de ensayo para la medición de campos electromagnéticos en instalaciones de alta tensión.

3. EMPLAZAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

La planta de almacenamiento “AGRUPACION AGUSTI” se plantea en el Cami Dels Reis, 2 o Polígono 2 Parcela 31 de Palma. En la tabla e imagen 2 se muestra la parcela objeto.

Tabla 1. Dirección, referencia catastral y superficie del emplazamiento del sistema de almacenamiento

Dirección principal	Ref. Catastral	Superficie gráfica
Polígono 2 Parcela 31, del T. M. Palma	07040A002000310000RZ	8.964 m ²

3.1. Emplazamiento

Las coordenadas UTM (Huso 31 UTM - ETRS89) del centroide de referencia donde se localizará la Planta BESS son las siguientes:

- Coordenada X: 465.500
- Coordenada Y: 4.378.800

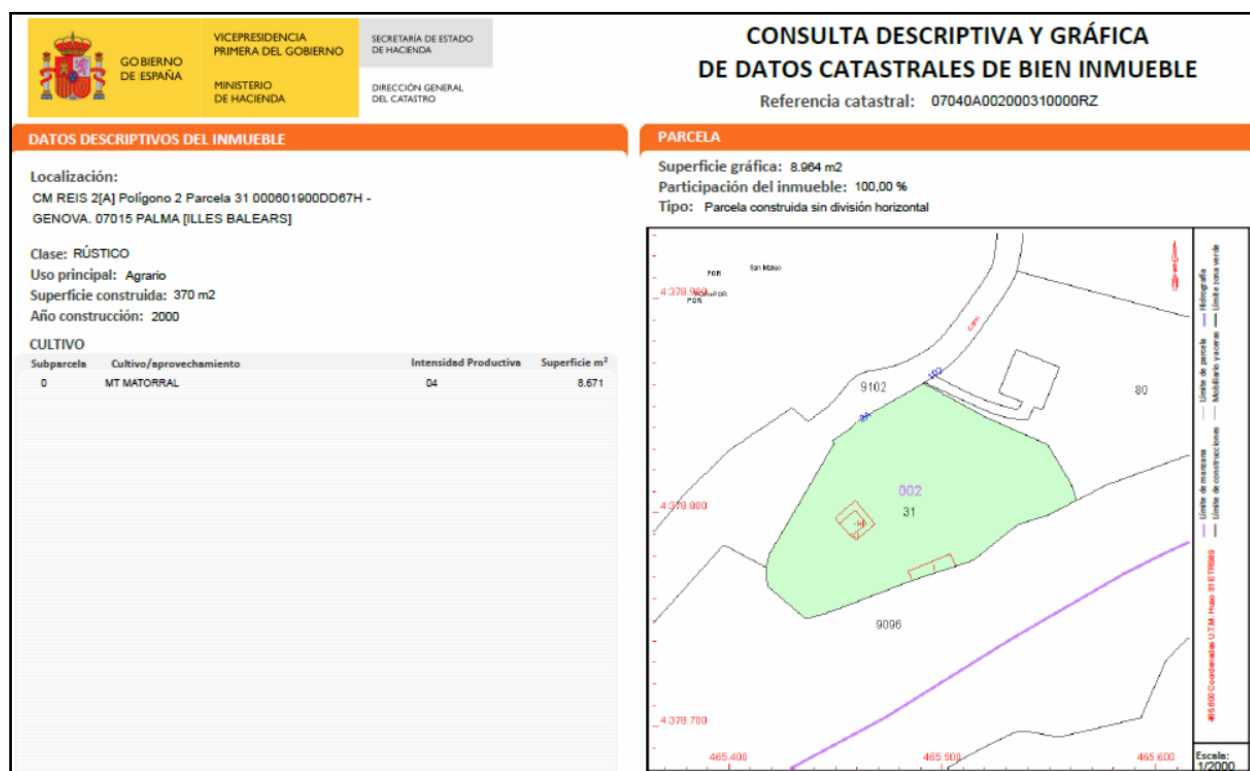


Imagen 1. Detalle del catastro con las parcelas destinadas a almacenamiento.

3.1. Implantación del proyecto

La planta de almacenamiento “Agrupación Agusti BESS” se sitúa en el municipio de Agusti (Mallorca, Islas Baleares). La implantación general es la siguiente:



Imagen 2: Implantación

4. ESTUDIO DE CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

4.1. Introducción

Los campos electromagnéticos, son aquellos campos generados por el paso de una corriente eléctrica a través de un material conductor. Las ecuaciones de Biot y Savart permiten analizar el Campo que produce una corriente eléctrica:

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \oint \frac{u_t \cdot u_r}{r^2} dl$$

- B es el vector campo magnético existente en un punto P del espacio
- u_t un vector unitario cuya dirección es tangente al circuito que nos indica el sentido de la corriente en la posición donde se encuentra el elemento dl .
- u_r es un vector unitario que señala la posición del punto P respecto del elemento de corriente $\frac{\mu_0 i}{4\pi}$ en el Sistema Internacional de Unidades.

Para el cálculo del campo electromagnético generado por un conductor rectilíneo indefinido por el que circula una corriente i , se puede establecer de la siguiente manera:

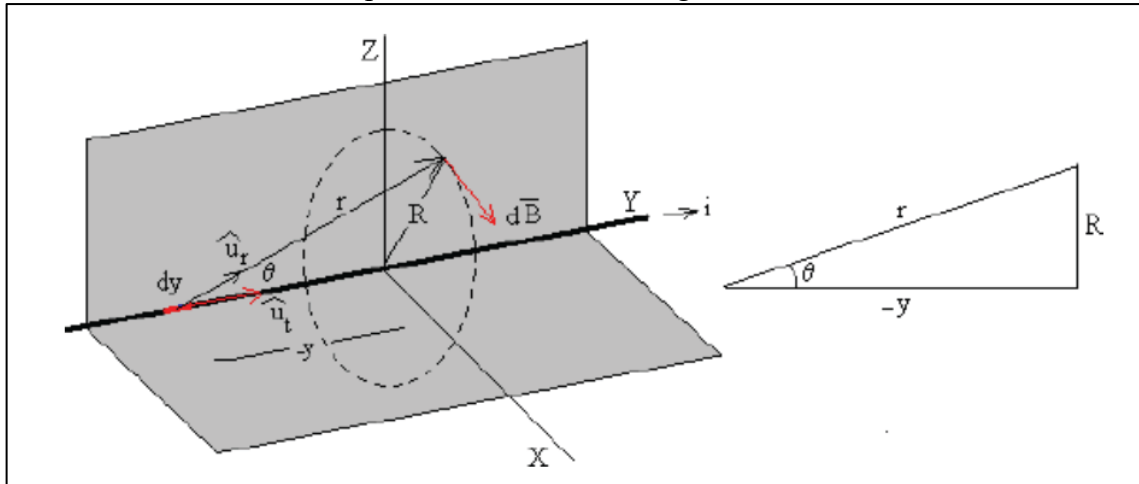


Imagen 3. Campo electromagnético generado por un conductor rectilíneo

El campo magnético B , producido en el punto P, tiene una dirección que es perpendicular al plano formado por la corriente rectilínea y el propio punto. Integrado la ecuación de Biot y Savart:

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\text{sen}\theta}{r^2} dy = \frac{\mu_0 i}{4\pi R} \int_0^{\pi} \text{sen}\theta \cdot d\theta = \frac{\mu_0 i}{2\pi R}$$

Se integra sobre la variable θ , expresando las variables x y r en función del ángulo θ .

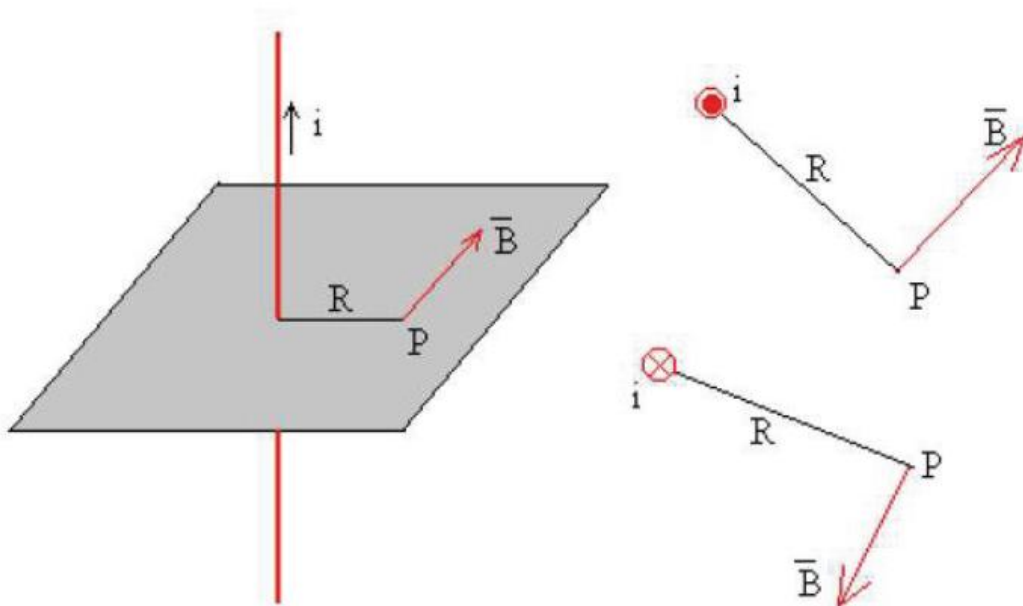


Imagen 4. Corriente electromagnética sobre plano

4.2. Cálculo del campo magnético

El campo magnético generado por las diferentes corrientes eléctricas dependerá de la intensidad que discurre por los diferentes tipos de cableado.

Para evitar que se generen campos magnéticos en el entorno del cableado situado en las zanjas y en su transición hasta el trafo (en caso de existir), todo el cableado, a excepción del cableado de entrada y salida del trafo, discurrirá trenzado de manera que los campos eléctricos generados por cada una de las líneas se anulen entre sí. En el siguiente apartado se justifica el campo magnético generado el cableado trenzado.

Por lo que respecta a los niveles de campo magnético permitidos, según el RD 1066/2001, por el que se establece 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, Anexo II, apartado 3.1 (Cuadro 2), se establece el límite de campo magnético admitido que se calculara como $5/f$, siendo f la frecuencia en KHz. **De esta manera, el límite de campo es de $100 \mu T$.**

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 (μT)	Densidad de potencia equivalente de onda plana (W/m ²)
0-1 Hz	—	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	—
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

Imagen 5. Niveles de referencia para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (25Hz-800Hz)

4.3. Cálculo del campo magnético generado por un cable de media tensión

En este apartado, se justifica el campo magnético creado por el cableado unipolares de 240 mm², de 3x1x240 mm².

Para simplificar el cálculo, se considerará el caso desfavorable de conductores rectilíneos indefinidos en el cableado de Media Tensión, discurriendo por el conjunto 3 cables (3x1x240 mm) y su intensidad máxima admitida.

Se considera que la envolvente del cable unipolar tiene un diámetro de 60 mm:

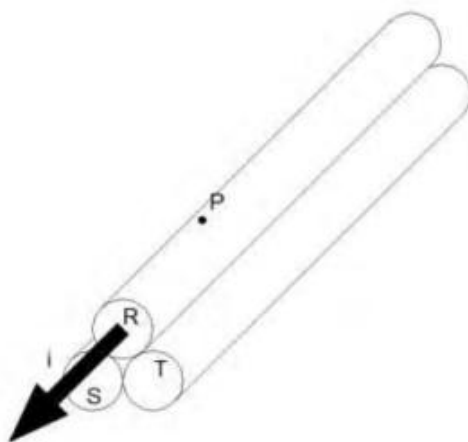


Imagen 6. Terna de cableado MT

El campo magnético generado en el Punto P será consecuencia del sumatorio de campos magnéticos generados por cada una de las fases del cableado:

$$B_p = \sum B_{p,i} = B_{p,r} + B_{p,s} + B_{p,t}$$

Suponiendo que la corriente está concentrada en el centro del cableado, para cada fase se tiene:

$$B_{p,r} = \mu \frac{iR}{2\pi r}$$

$$B_{p,s} = \mu \frac{iS}{2\pi d}$$

$$B_{p,t} = \mu \frac{iT}{2\pi d}$$

Teniendo en cuenta que las intensidades se encuentran desfasadas y pertenecen a un circuito trifásico equilibrado, se tiene que:

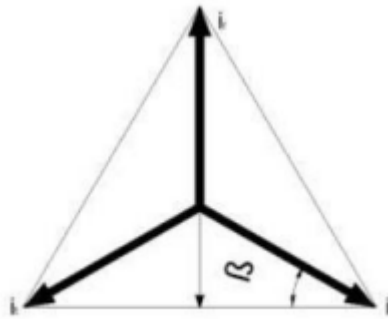


Imagen 7. Desfase de intensidades

Por lo que teniendo en cuenta que $\beta=30^\circ$:

$$i_s = i_t = i_r \cdot \text{sen}30 = -\frac{i_r}{2}$$

5. LIMITACIÓN DE CAMPOS MAGNÉTICOS

5.1. Criterios de evaluación

De acuerdo con el Real Decreto 1066/2001 y la ITC-RAT 14, los valores máximos permitidos de campo magnético son:

- **100 μ T para el público en general.**
- **500 μ T para los trabajadores**, medido a 200 mm de la zona de operación.

5.2. Metodología de análisis para verificación del cumplimiento normativo

Para la verificación del cumplimiento normativo, se utilizarán las siguientes metodologías:

- **Mediciones in situ** mediante sondas de campo electromagnético calibradas, en distintos puntos estratégicos de la instalación.
- **Comparación con ensayos tipo** realizados en envolventes prefabricadas de Ormazabal, de acuerdo con la norma IEC/TR 62271-208.
- **Análisis de simulación electromagnética** basado en modelos de cálculo predictivo para la determinación de la distribución del campo magnético en el entorno de la instalación.

5.3. Cumplimiento normativo

De acuerdo con el apartado 4.7 de la ITC-RAT 14 del RD 337/2014, se debe comprobar que los valores de campo electromagnético no superen los límites establecidos en el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre.

Los ensayos tipo realizados en las envolventes prefabricadas especificadas en este proyecto, conforme a IEC/TR 62271-208, confirman que los valores de campo magnético a 200 mm del exterior del centro de transformación cumplen con los límites normativos:

- Inferior a **100 μ T** para el público en general.
- Inferior a **500 μ T** para los trabajadores (medido a 200 mm de la zona de operación).

Dicho ensayo tipo se lleva a cabo de acuerdo con el informe técnico IEC/TR 62271-208, reconocido en la norma de obligado cumplimiento UNE-EN 62271-202 como método válido para la evaluación de campos electromagnéticos en centros de transformación prefabricados de alta/baja tensión.

Asimismo, según el apartado 2 de la ITC-RAT 03 del RD 337/2014, el ensayo tipo de emisión electromagnética del centro de transformación forma parte del **Expediente Técnico**, el cual debe mantenerse a disposición de la autoridad nacional española de vigilancia de mercado, conforme a lo estipulado en dicha ITC-RAT.

5.4. Condiciones de diseño

En caso de que el centro de transformación se ubique en edificios habitables o cercanos a estos, se deberán respetar las siguientes condiciones de diseño:

- a) Las entradas y salidas de la red de media tensión al centro de transformación se efectuarán por el suelo, con disposición en triángulo y formando ternas.
- b) La red de baja tensión se diseñará siguiendo el mismo criterio.
- c) Se minimizará la longitud de las interconexiones y se evitará su proximidad a paredes y techos colindantes con viviendas.
- d) No se instalarán cuadros de baja tensión en paredes medianeras con locales habitables, procurando además que el lado de conexión de baja tensión del transformador quede lo más alejado posible de dichos locales.

Las instalaciones cumplirán con los límites establecidos por la normativa vigente, garantizando la seguridad tanto del público como de los trabajadores que operen en la infraestructura. Se adoptarán las siguientes medidas preventivas:

- Uso de envolventes prefabricadas de Ormazabal o similar, que aseguran valores de campo magnético dentro de los límites normativos.
- Diseño de la instalación con ubicaciones estratégicas que minimicen la exposición a campos electromagnéticos, situados en lugares lejanos a sitios habitables.
- Control periódico mediante mediciones en puntos críticos para garantizar el cumplimiento a lo largo de la operación de la instalación.

6. CONCLUSIONES

El presente estudio confirma que la instalación de baterías de ion litio cumplirá con los requisitos establecidos en la normativa vigente en relación con los campos electromagnéticos. Se garantiza así la seguridad del público y de los trabajadores, asegurando que las emisiones electromagnéticas permanecen dentro de los valores permitidos por el Real Decreto 1066/2001.

Artà, agosto 2025

Ingeniero técnico industrial: Jaume Sureda Bonnin
COL: 700 C.O.E.T.I.B.

Ingeniero industrial: Gonzalo García Uriarte
COL: 879 C.O.E.I.B.

Ingeniero de la energía: Ángel Lacleta Barrera
COL: 26827 C.E.T.I.B.