

# Trabajo Fin de Master

## Master Ingeniería Industrial

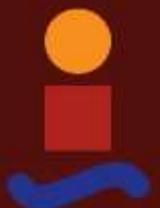
### Aplicación y dimensionamiento de equipos de un sistema BESS en una central térmica

Autor: Rafael Sánchez Hernández

Tutor: Pedro Javier Zarco Perriñán

**Dep. Ingeniería eléctrica**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2018





Trabajo Fin de Master  
Master Ingeniería Industrial

# **Aplicación y dimensionamiento de equipos de un sistema BESS en una central térmica**

Autor:

Rafael Sánchez Hernández

Tutor:

Pedro Javier Zarco Perrián

Profesor sustituto interino

Dep. de Ingeniería Eléctrica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018



Trabajo Fin de Master: Aplicación y dimensionamiento de equipos de un sistema BESS en una central térmica

Autor: Rafael Sánchez Hernández

Tutor: Pedro Javier Zarco Períñan

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal

*A mi familia*

*A mis maestros*



# Agradecimientos

---

Este proyecto esta dedicado a mi familia, especialmente a mis abuelos que desde el cielo se sentirán orgullosos de su nieto. A todas y cada una de las personas que me han ayudado a conseguir hacer este proyecto en un año realmente complicado, con especial cariño a Francisco Benitez Camacho y a todo el equipo de la empresa COBRA Instalaciones y Servicios S.A. quienes me han enseñado mucho durante este camino y sin quienes este proyecto no sería una realidad. Por último, me gustaría también agradecer a mi tutor, Pedro Javier Zarco Perrián, por su paciencia y consejos a la hora de redactar el Trabajo Fin de Master. A todos ellos, muchas gracias.



# Resumen

---

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar el concepto de “Battery Energy Storage System” o sistema BESS, explicando las oportunidades que ofrece esta tecnología al mercado energético además de aplicar dicho concepto para una central térmica. Dentro de la central térmica, se van a describir los distintos equipos que constituyen el sistema en estudio y se realizará un análisis de las variables principales del sistema en conjunto mediante una simulación con el software ETAP, la cual permite el estudio y posterior dimensionamiento de la instalación y simular el comportamiento de la central una vez esté el sistema BESS integrado en la misma.



# Abstract

---

This project aims to develop the concept of "Battery Energy Storage System" or BESS system, explaining the opportunities offered by this technology to the energy market as well as applying this concept to a thermal power plant. Within the thermal power station, the different equipment that constitutes the system under study will be described and an analysis of the main variables of the system as a whole will be made through a simulation with the ETAP software, which allows the study and subsequent sizing of the installation and simulate the behavior of the plant once the BESS system is integrated in it.



# Prefacio

---

En la actualidad, el aumento de la penetración de tecnologías renovables no gestionables ha incrementado las necesidades de flexibilidad del sistema eléctrico y de aportación de capacidad de potencia firme de las centrales de combustibles fósiles. Además, el bajo funcionamiento de las centrales de ciclo combinado, especialmente en momentos de alta hidráulica y eólica obliga a las centrales térmicas de carbón a realizar funciones de seguimiento de la demanda para lo que no han sido diseñadas. Esto supone un aumento de la velocidad a la que se deterioran componentes críticos de la central como son las turbinas y generadores, lo cual implica mayores gastos de inspección y mantenimiento.

El desarrollo de la tecnología de ion litio para los sistemas de almacenamiento con batería ha permitido una expansión de estos sistemas como apoyo a la mejora de la respuesta de las plantas térmicas a las fluctuaciones del resto del parque generador. De esta forma, el sistema de almacenamiento propuesto se integrará en el sistema auxiliar de la central y se plantea como una solución para la mejora del tiempo de respuesta del grupo térmico en el seguimiento de las consignas de red.



# Índice

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>9</b>
<b>Resumen</b>	<b>11</b>
<b>Abstract</b>	<b>13</b>
<b>Prefacio</b>	<b>15</b>
<b>Índice</b>	<b>17</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>19</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>21</b>
<b>1 ESTADO ACTUAL DEL ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Proyectos a nivel nacional</i>	2
1.2 <i>Proyectos a nivel europeo</i>	3
1.3 <i>Proyectos a nivel mundial</i>	3
<b>2 SISTEMA BESS</b>	<b>5</b>
2.1 <i>Características generales del sistema BESS</i>	5
2.1.1 Baterías	5
2.1.2 Power Converter System (PCS)	7
2.1.3 Controlador (SCADA)	8
2.2 <i>Aplicaciones de la tecnología BESS en el sistema eléctrico</i>	8
2.2.1 Generación eléctrica	8
2.2.2 Transporte	10
2.2.3 Distribución	11
<b>3 APLICACIÓN A CENTRALES TÉRMICAS</b>	<b>15</b>
3.1 <i>Funcionamiento actual de una central térmica</i>	15
3.2 <i>Configuración del sistema BESS en la central térmica</i>	15
<b>4 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA</b>	<b>19</b>
4.1 <i>Equipos principales</i>	19
4.1.1 Transformadores de potencia	19
4.1.2 Cabinas de Media Tensión	19
4.1.3 Transformador de Servicios Auxiliares	20

4.1.4	Cuadros	20
4.1.5	Cableado de potencia	20
4.2	<i>Instalaciones de control, protección y comunicaciones</i>	21
4.3	<i>Instalaciones auxiliares</i>	21
4.3.1	Protección contra incendios (PCI)	21
4.3.2	Iluminación	22
4.3.3	Climatización	23
4.3.4	Pararrayos	23
<b>5</b>	<b>DISEÑO DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA</b>	<b>25</b>
5.1	<i>Diseño del sistema BESS</i>	25
5.2	<i>Diseño de los Transformadores auxiliares</i>	26
5.3	<i>Diseño del Transformador de SS.AA.</i>	26
5.4	<i>Diseño de las Cabinas de MT</i>	26
5.5	<i>Diseño de Circuitos</i>	27
5.5.1	Circuitos de MT	27
5.5.2	Circuitos de BT	29
5.5.3	Circuitos de control y comunicaciones	30
5.6	<i>Diseño Canalizaciones</i>	34
5.7	<i>Diseño del inversor</i>	35
5.8	<i>Diseño del sistema de protección contra incendios</i>	35
5.8.1	PCI del parque de baterías	36
5.8.2	PCI del edificio de control	37
5.9	<i>Diseño de la iluminación</i>	37
5.9.1	Parque intemperie	37
5.9.2	Edificio interior	39
5.10	<i>Diseño de la climatización del edificio de control</i>	40
5.11	<i>Diseño del pararrayos</i>	41
<b>6</b>	<b>JUSTIFICACIÓN Y CÁLCULOS DEL CONJUNTO</b>	<b>43</b>
6.1	<i>Transformadores</i>	43
6.1.1	Transformadores auxiliares	43
6.1.2	Transformador de SS.AA.	43
6.2	<i>Infraestructura de evacuación</i>	45
6.2.1	Circuitos	45
6.3	<i>Inversor</i>	54
6.4	<i>Instalaciones auxiliares</i>	54
6.4.1	Protección contra incendios	54
6.4.2	Climatización del edificio	55
6.4.3	Pararrayos	56
<b>7</b>	<b>ANÁLISIS DE LAS VARIABLES PRINCIPALES DEL SISTEMA ACTUAL</b>	<b>59</b>
7.1	<i>Flujo de cargas</i>	59
7.1.1	Flujo de cargas en un sistema BESS de 20 MW	59
7.2	<i>Estudio de cortocircuito</i>	60
7.2.1	Escenario más desfavorable	60
7.2.2	Escenario menos desfavorable	61
7.3	<i>Selectividad de las protecciones</i>	62
7.3.1	Calibración del relé de la cabina 20 kV de salida del transformador de SS.AA.	63
7.3.2	Calibración relé cabina de acometida	64
7.3.3	Calibración de los relés de cabecera de los transformadores auxiliares	65
7.3.4	Coordinación de las protecciones	65
7.3.5	Simulación de una falta en la instalación y reacción del sistema de protecciones	67
	<b>ANEXO 1: CÁLCULO DE LAS INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO</b>	<b>69</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>137</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Comparación de tecnologías de las baterías actuales	6
Tabla 2. Niveles mínimos de iluminación	22
Tabla 3. Características de las celdas de MT	27
Tabla 4. Balance de potencias del transformador de SS.AA.	44
Tabla 5. Secciones por capacidad de carga permanente en circuitos de MT	46
Tabla 6. Secciones definitivas en circuitos de MT	46
Tabla 7. Cálculo de la intensidad de cortocircuito hasta CGBT	48
Tabla 8. Condiciones de instalación de los circuitos de CA en BT	51
Tabla 9. Sección y aparamenta de los circuitos de CA en BT	52
Tabla 10. Sección y aparamenta de los circuitos de CC en BT	53
Tabla 11. Balance de potencias para el dimensionamiento del inversor	54
Tabla 12. Valores usados en el cálculo del nivel de riesgo	54
Tabla 13. Nivel de riesgo intrínseco al fuego	55
Tabla 14. Cargas térmicas del edificio de control	56
Tabla 15. Nivel de protección según la eficiencia	57
Tabla 16. Corrientes de cortocircuito para las condiciones más desfavorables	61
Tabla 17. Corrientes de cortocircuito para las condiciones menos desfavorables	61



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Sistemas de almacenamiento de energía	2
Figura 2. Conexión a la red de un sistema BESS	5
Figura 3. Agrupaciones de baterías	7
Figura 4. Esquema inversor con tecnología IGBT	7
Figura 5. Regulación de frecuencia	8
Figura 6. Potencia instalada a Enero de 2018	9
Figura 7. Generación a Enero de 2018	9
Figura 8. Soporte a la generación renovable	10
Figura 9. Reserva operativa	11
Figura 10. Nivelación de carga	11
Figura 11. Sistema BESS en Australia	12
Figura 12. Calidad de suministro	12
Figura 13. Peak Shaving	13
Figura 14 Esquema de funcionamiento de una central térmica	15
Figura 15. Esquema general del sistema BESS	16
Figura 16. Par de contenedores EH-PH	16
Figura 17. Comunicación BMS-EMS	17
Figura 18. Comunicación BMS-AGC	17
Figura 19. Esquema general de la instalación	25
Figura 20. SCADA del conjunto del sistema BESS	33
Figura 21. Detalle del SCADA real para contenedor tipo PH	33
Figura 22. Detalle del SCADA real para contenedor tipo EH	34
Figura 23. Diseño de la canalización	35
Figura 24. Clasificación elementos constructivos según el CPR	36
Figura 25. Instalación de luminarias exteriores	38
Figura 26. Isolíneas de iluminación exterior	38

---

Figura 27. Imagen simulada del alumbrado exterior	39
Figura 28. Disposición de las luminarias en el interior del edificio	39
Figura 29. Isolíneas en el interior del edificio	40
Figura 30. Imagen simulada del alumbrado del edificio de control	40
Figura 31. Instalación de la climatización en el edificio de control	41
Figura 32. Área de influencia del pararrayos	41
Figura 33. Mapa de densidad de impacto en el terreno	57
Figura 34. Esquema general de la central térmica en ETAP	59
Figura 35. Flujo de cargas en un sistema BESS de 20 MW	60
Figura 36. Simulación del cortocircuito trifásico para el escenario más desfavorable	61
Figura 37. Simulación del cortocircuito trifásico para el escenario menos desfavorable	62
Figura 38. Sistema BESS con relés incorporados	62
Figura 39. Ejemplo de actuación de relé de sobreintensidad de tiempo inverso	63
Figura 40. Ejemplo de actuación en relé de sobreintensidad de tiempo definido	63
Figura 41. Coordinación de los relés de protección	66
Figura 42. Detalle de la falta en el sistema BESS	67
Figura 43. Secuencia de actuación de las protecciones ante una falta en el CMT-2	67
Figura 44. Coordinación de las protecciones para el cortocircuito en el CMT-2	68





# 1 ESTADO ACTUAL DEL ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO

---

*La humanidad está ante el gran problema de la búsqueda de nuevas materias primas y fuentes de energía que nunca lleguen a agotarse. Mientras tanto, no debemos perder lo que tenemos, pues debemos dejar tanto como sea posible para las generaciones venideras.*

Svante Arrhenius, premio Nobel de Química, 1859-1927

Los distintos sistemas eléctricos de los países desarrollados se enfrentan cada vez más a una mayor penetración de energías renovables, especialmente energía eólica y solar, lo que demandará una mayor flexibilidad al sistema eléctrico. Actualmente, los distintos agentes que participan en el sistema eléctrico tienen capacidades técnicas limitadas para poder proporcionar esa flexibilidad que demandan las nuevas tecnologías de generación. Llegados a este punto, el almacenamiento de energía eléctrica se hace indispensable para asegurar el suministro al cliente final bien sea una industria o una vivienda.

Los sistemas de almacenamiento de energía comprenden de manera general tres subsistemas:

- Medio físico. Permite el almacenamiento de energía, ya sea de forma mecánica, eléctrica o térmica entre otros.
- PCS (Power Converter System): Subsistema que permite el intercambio energético entre el medio físico y el sistema eléctrico.
- Subsistema de comunicación y control. Permite gobernar la carga y descarga de la energía.

Las tecnologías de almacenamiento de energía eléctrica, según el medio físico de almacenamiento se pueden clasificar en:

- Almacenamiento electroquímico (BESS). Principio de funcionamiento en reacciones de reducción y oxidación, redox. Se distinguen en esta categoría:
  - Baterías secundarias o recargables.
  - Baterías de flujo. Se diferencian de las baterías secundarias en que tanto el electrolito como el ánodo y el cátodo se encuentran en tanques externos a la celda, siendo bombeados desde ellos hacia la celda.
- Almacenamiento mecánico. Almacenan energía potencial o cinética para luego transformarla en energía eléctrica. Las principales tecnologías de este tipo son:
  - Volantes de inercia (KES), se basa en almacenar energía cinética en función de la velocidad de giro.
  - Bombeo de agua (PHS), hace uso de la energía potencial del agua embalsada a cierta altura para proporcionar potencia.
  - Aire comprimido (CAES), convierte la energía potencial del aire comprimido en el suelo a

energía eléctrica accionando un generador eléctrico.

- Almacenamiento eléctrico. La energía proviene de campos magnéticos o eléctricos, se distinguen:
  - Supercondensadores (DLC), basados en almacenar energía en campos electrostáticos.
  - Bobinas superconductoras (SMES), almacenan energía en campos magnéticos. Es una tecnología en fase experimental.
- Almacenamiento térmico. Almacenan energía térmica para generar electricidad. Su uso está muy extendido en plantas termosolares mediante el uso de sales fundidas.
- Almacenamiento químico basado en hidrógeno. El objetivo es convertir la energía eléctrica que sobra en hidrógeno mediante electrolisis del agua o bien a partir de la síntesis del metano.

Una vez introducidas las distintas tecnologías disponibles, en el presente proyecto se opta por la tecnología de almacenamiento electroquímico, concretamente un sistema BESS (Battery Energy Storage System) de baterías secundarias puesto que se trata de una tecnología madura que resulta idónea para sistemas de almacenamientos energéticos a gran escala, como lo puede ser para una central térmica. Otra característica que lo hace ideal es el hecho de que este tipo de tecnología es muy flexible y admite más ciclos de carga-descarga que otras, lo que resulta ideal para actuar de soporte a las turbinas de la central térmica. En la Figura 1 se observa un esquema de las distintas tecnologías de almacenamiento según su medio físico de almacenamiento.

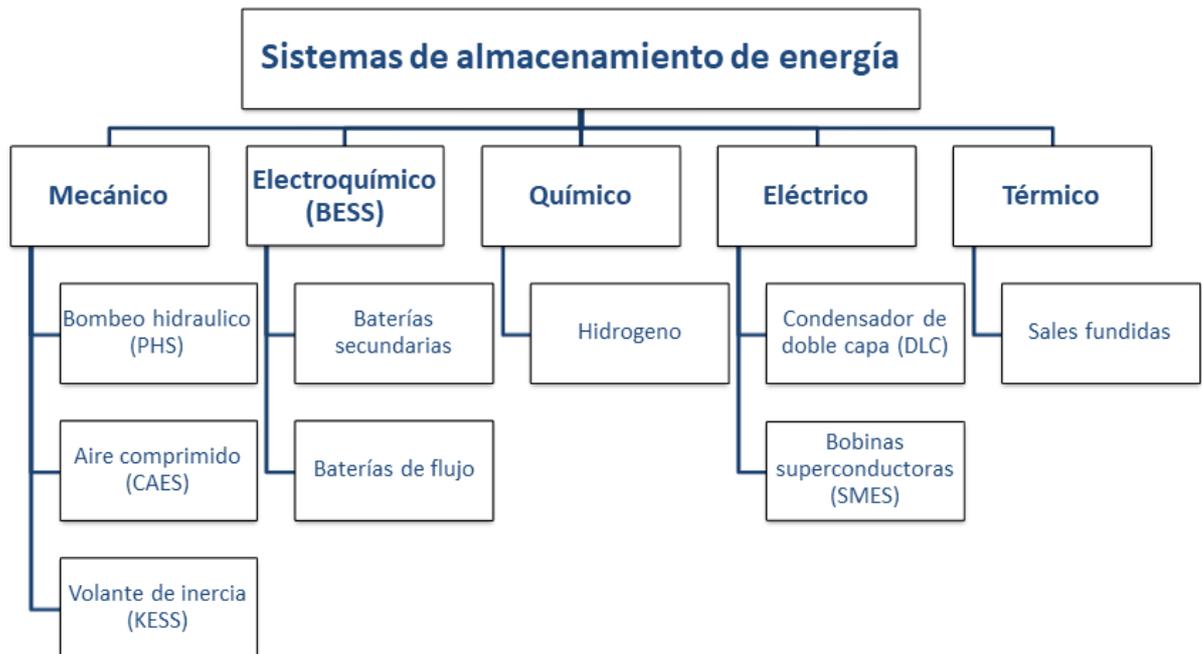


Figura 1. Sistemas de almacenamiento de energía

A continuación se nombrarán algunos proyectos tanto a nivel nacional como internacional en los cuales el almacenamiento energético es pieza clave de los mismos.

## 1.1 Proyectos a nivel nacional

En España existen varios ejemplos del uso de esta tecnología. El primero de ellos es el proyecto “Almacena” de Red Eléctrica de España (REE) en el periodo 2013-2014 (1). Se trata de la instalación de un sistema BESS de 1 MW de potencia y de 3 MWh en una subestación eléctrica de Carmona (Sevilla) con el objetivo de

evaluar las capacidades y características que presenta esta tecnología para mejorar la eficiencia de la red eléctrica. Este proyecto ha sido un éxito puesto que durante el año 2014 el sistema BESS realizó diariamente 180 ciclos de carga y descarga de las baterías.

En las Islas Canarias se desarrolló en 2013 el proyecto más importante a nivel europeo sobre sistemas de almacenamiento de energía en islas. Se le conoce como proyecto “STORE” y fue liderado por Endesa. Trataba de integrar tres tecnologías de almacenamiento energético en ámbitos eléctricos aislados. Se han usado tres islas del archipiélago canario en las cuales se realizaron pruebas con una tecnología distinta de almacenamiento. Así, en Gran Canaria se instaló una batería BESS de ion – Litio en la localidad de La Aldea de San Nicolás, ultracondensadores en el municipio de Breña Alta en la isla de La Palma y en la isla de La Gomera se decidió la instalación de un volante de inercia.

El objetivo de este proyecto era la búsqueda de tecnologías de almacenamiento de energía que permitiesen una gestión más eficiente del sistema eléctrico, dotándolo de una mayor flexibilidad y seguridad. El proyecto finalizó en 2014 con unos resultados satisfactorios en los cuales se confirmó que estas tecnologías permiten aportar servicios de apoyo de generación mejorando la calidad, eficiencia y seguridad de la generación y facilitando la incorporación de nuevas fuentes de generación no gestionable así como la generación distribuida.

Un proyecto fruto de la investigación del anterior es la futura instalación de un sistema BESS que la empresa Endesa Generación se encuentra realizando en la central térmica del municipio de Carboneras (Almería). Se trata de un sistema de baterías con una capacidad de 20 MW que dará apoyo a la central térmica cuando existan picos de demanda en el sistema eléctrico español. A su vez, esta instalación sirve de inspiración para el presente proyecto.

## 1.2 Proyectos a nivel europeo

Horizonte 2020 es un programa europeo dotado de 77 mil millones de euros para financiar proyectos de investigación e innovación en diversas áreas del conocimiento durante el periodo 2014-2020. En este marco europeo, destaca el proyecto de GRIDSOL, liderado por la empresa española COBRA en colaboración con empresas y organismos europeos.

El proyecto GRIDSOL trata de integrar diferentes tecnologías renovables en una planta de generación eléctrica híbrida siendo capaz de proporcionar firmeza al sistema eléctrico (2). Este proyecto evalúa distintas configuraciones de las plantas de generación híbridas combinando diferentes tecnologías de generación como la termosolar, fotovoltaica, eólica y biomasa que a su vez reciben apoyo de un sistema de almacenamiento de energía bien por baterías o mediante energía térmica, que cuenta con un sistema de recuperación de calor para aumentar su rendimiento. El principal punto de innovación del proyecto GRIDSOL es el gestor dinámico de la energía que permitirá diseñar plantas con cualquier tecnología renovable según los requerimientos del operador del sistema y proporcionando un despacho económico óptimo de la energía. El principal objetivo del proyecto es el diseño de plantas híbridas de generación, las cuales utilizarán los distintos sistemas de almacenamiento energético para proporcionar flexibilidad al sistema eléctrico.

Existe un proyecto de investigación entre España y Portugal, en el cual participa y lidera la Universidad de Sevilla, denominado AGERAR que se encuentra enmarcado dentro del programa INTERREG V-A España – Portugal 2014- 2020. Tiene como objetivo promover la eficiencia energética en microrredes incrementando el uso y mejorando la gestión de energías renovable mediante los sistemas de almacenamiento de energía y el uso de tecnología de la información. Durante el desarrollo de este proyecto se obtendrá información fiable para los distintos entes encargados de las políticas energéticas.

## 1.3 Proyectos a nivel mundial

En el panorama internacional existe una empresa líder en este sector, se trata de la empresa TESLA que se encuentra inmersa en multitud de proyectos de almacenamiento de energía en baterías (BESS) por todo el mundo. De entre ellos destaca la instalación en Australia de un sistema BESS de 20 MW para apoyar la generación de una planta eólica (3). En la región del sur de Australia, los apagones prolongados debido a condiciones climáticas adversas resultan ser un problema que el sistema instalado por la compañía de Elon

Musk ha sabido solucionar. El sistema BESS se carga gracias a la energía eólica y suministra energía a la red en horas de alta demanda. Con el éxito de este proyecto, países de todo el mundo se están interesando por esta tecnología para solventar el problema de la flexibilidad del sistema eléctrico debido a la cada vez mayor penetración de energía renovables en los sistemas de generación de energía de cada país.

Por otro lado, en Sudamérica el gobierno chileno apuesta fuertemente por las energías renovables lo que conlleva la inversión en sistemas de almacenamiento de energía. Se puede decir que Chile es uno de los países que más ha invertido en esta materia y que cuenta con multitud de ejemplos tanto en subestaciones eléctricas como en centrales de generación. Entre ellos se encuentra el sistema BESS de la subestación eléctrica de los Andes en el norte del país, capaz de entregar energía durante 15-20 minutos a la red eléctrica y la instalación de un sistema BESS en la central termoeléctrica Angamos capaz de entregar energía durante un periodo de 20 minutos.

## 2 SISTEMA BESS

En el mundo, y concretamente en España, cada vez se invierte más dinero en generación de energía proveniente de fuentes renovables, como puede ser la solar o la eólica. La red de transporte y distribución de energía eléctrica no está preparada para estas condiciones de funcionamiento, con mucha dependencia de la climatología, por lo que se hace necesario algún sistema que dé apoyo a la red en momentos críticos. Así, el sistema BESS resulta idóneo en esta etapa de transición energética en la cual está inmersa Europa. Un sistema BESS es un conjunto de baterías, normalmente de ion-Litio, capaces de almacenar energía de forma electroquímica y verterla a la red cuando sea necesario. Este sistema posee uno de los niveles más altos de flexibilidad en cuanto a la respuesta de carga y descarga, además de tener altos niveles de eficiencia.

### 2.1 Características generales del sistema BESS

En la Figura 2 se muestra un esquema del sistema BESS, donde se pueden observar los distintos equipos necesarios para su funcionamiento, como son las baterías, el PCS (Power Conversion System) y el de control del sistema. Como se observa, el subsistema de las baterías está formado por el BMS (Battery Management System) y los propios contenedores de baterías. Este subsistema es controlado desde el BESS Control o sistema EMS (Energy Management System) y la transferencia de energía se hace mediante el PCS. La unión de estos sistemas conforma un sistema BESS, que permite la transferencia de potencia aguas arriba, bien sea a la red de transporte, distribución o una central de generación como el caso del presente proyecto. La transferencia de energía es bidireccional, es decir, permite la carga o descarga de las baterías en función de las necesidades estimadas por el EMS. (4)

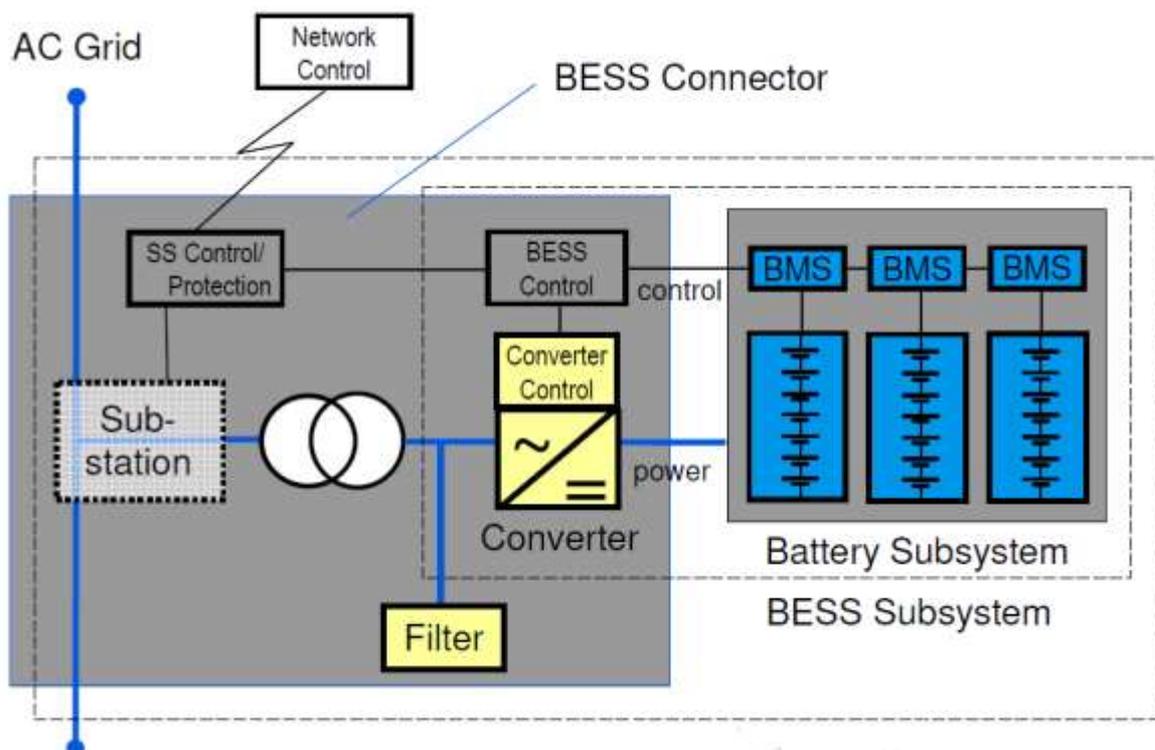


Figura 2. Conexión a la red de un sistema BESS

#### 2.1.1 Baterías

Los acumuladores electroquímicos reversibles o baterías, son dispositivos electrónicos que almacenan energía en su interior. A grosso modo se componen de un polo positivo y otro negativo y un electrolito donde ambos

polos se encuentran sumergidos. Las reacciones químicas que se dan en su interior, dependiendo de la tecnología usada, dan como resultado una circulación de corriente continua cuando se cierra un circuito exterior conectado a los electrodos. Esta corriente continua va de polo positivo a negativo cuando se carga y en sentido contrario cuando se descarga. Comercialmente, las baterías son modulares, de manera que se puedan escalar para la potencia deseada según las necesidades del cliente.

Existen distintas tecnologías a la hora de elegir una batería. De acuerdo a los parámetros de la Tabla 1, se opta por tecnología de ion – Litio para las baterías del presente proyecto. Esta tecnología admite un gran número de ciclos de carga/descarga, tienen una gran eficiencia y una larga vida útil que unido al hecho de que sus descargas internas son del orden del 0,3% diario, las hace ideales para la aplicación en estudio.

CRITERIOS GENERALES	Plomo Ácido	Niquel Cadmio (NiCd)	Sulfuro de Sodio (NaS)	Ion - Litio
Eficiencia	50 - 95%	70 - 90%	75 - 90%	80 - 90%
Potencia específica (Potencia/Peso)	180 Wh/kg	150 Wh/kg	155 Wh/kg	250 - 340 Wh/kg
Descargas internas	3 - 20 %/mes	10 %/mes	20 %/día	0,1 - 0,3 %/día
Vida útil	Años	Baja	> 8 años	> 10 años
Ciclos	500-800	2.000	3.000	10.000

Tabla 1. Comparación de tecnologías de las baterías actuales

El sistema BESS más simple se compone de elementos de acumulación de energía (celdas electroquímicas, que en el caso en estudio son de ion Litio) y de convertidores de potencia para facilitar el flujo de potencia bidireccional entre las baterías y la central. La agrupación más básica son las celdas de pequeña capacidad y tensión, en torno a 250 Wh y 3,7 V.

También, como se puede observar en la Figura 3 (4), existen otro tipo de agrupaciones, siendo de menor a mayor integración:

- Módulo: agrupación en serie de un número determinado de celdas para alcanzar el orden de varias decenas de voltios. Físicamente resulta ser un contenedor de unos 50 cm de anchura.
- Rack: se trata de la agrupación en serie de varios modulos hasta alcanzar una tensión nominal de 800V. Físicamente, se trata de un armario de 800x800 mm<sup>2</sup> de planta.
- Bus de corriente continua (CC): agrupación en paralelo de un número determinado de racks, hasta alcanzar la capacidad apropiada.

Cada Bus de CC está aislado galvánicamente del resto y se conecta a un convertidor de potencia.

En el caso que ocupa el presente proyecto, la potencia total del sistema es de 20 MW con una capacidad de almacenamiento de 10 MWh y esta conectado al sistema auxiliar de la central a una tensión de 20 kV.

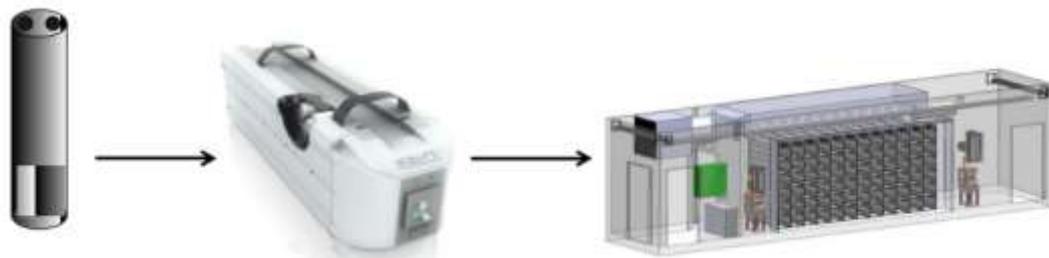


Figura 3. Agrupaciones de baterías

## 2.1.2 Power Converter System (PCS)

Se trata del sistema de conversión de potencia y de control de cada container. Normalmente es una envoltura con todos los equipos en su interior, aunque también pueden estar separados dependiendo del fabricante. Un PCS engloba los siguientes elementos:

### 2.1.2.1 Transformador

Es necesario un transformador de potencia para elevar la tensión a la salida del inversor y realizar la interconexión con la red eléctrica.

### 2.1.2.2 Inversor

El inversor CC/CA (corriente alterna) permite la conexión de las baterías, que operan en corriente continua, con la red eléctrica por la que circula corriente alterna. Permite el flujo de energía en los dos sentidos para la carga y descarga de las baterías. Una característica importante de los inversores en este tipo de sistemas, es que aceptan tensiones de entrada en el lado de continua dentro de un determinado rango mientras que la tensión de salida en alterna es un valor fijo: 400V. Esta característica es necesaria, puesto que el voltaje en el lado de las baterías depende del estado de carga de las mismas. Lo más común es que usen interruptores IGBT, para una mejor modulación PWM. Véase la Figura 4 (4).

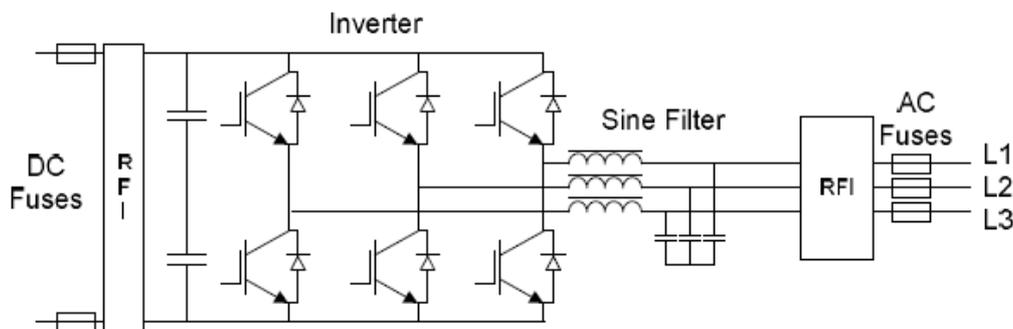


Figura 4. Esquema inversor con tecnología IGBT

### 2.1.2.3 Protecciones CA y CC

Engloba interruptores, transformadores de medida y relés que se encargan de proteger al sistema cuando se detecte alguna anomalía tanto en el lado de alterna como de continua.

### 2.1.2.4 Battery Management System o BMS

Es un componente esencial del BESS ya que realiza las funciones de control del estado del sistema y permite la comunicación con otros sistemas. Se encarga de medir algunos parámetros de las baterías, como la tensión, temperatura, estado de carga, y enviar las órdenes necesarias para que el sistema opere correctamente. Cada container tiene su sistema BMS, que envía información para su monitorización a la sala de control del sistema global a través de un sistema SCADA.

### 2.1.3 Controlador (SCADA)

Se encarga de asegurar el correcto funcionamiento del sistema completo. Recibe señales del BMS para ejecutar acciones según sea necesario, como activar las protecciones cuando se produce un defecto o controlar la temperatura. También, se encarga de las comunicaciones con otros sistemas ajenos al BESS, que en el caso en estudio se comunicará con la central térmica. Cuenta con una interfaz gráfica en forma de SCADA que permite a los encargados de operar el sistema visualizar todos los parámetros importantes y poder ejecutar acciones manualmente a través de él.

## 2.2 Aplicaciones de la tecnología BESS en el sistema eléctrico

Este tipo de tecnología tiene distintos usos dentro de la cadena de suministro energético, desde la generación hasta el consumo pasando por el transporte y la distribución. A continuación se mencionan las distintas aplicaciones para cada una de las etapas del sistema eléctrico.

### 2.2.1 Generación eléctrica

#### 2.2.1.1 Regulación de frecuencia

La frecuencia de toda red eléctrica debe mantenerse dentro de un rango determinado. Las distintas variaciones en la carga producen cambios pequeños en la frecuencia de la red, con lo que se hace necesario algún sistema que corrija estas pequeñas desviaciones. También, cuando se producen faltas en la red debido a que alguna máquina deja de generar energía por un fallo, produciendo la consiguiente caída de la frecuencia que es necesaria corregir al momento con un aporte de potencia activa.

Lo que hace ideal a este sistema para regular la frecuencia es su flexibilidad y su larga vida en cuanto a ciclos de carga/descarga se refiere, además de tardar solo unos milisegundos en funcionar una vez se haya detectado la variación de la frecuencia. Un ejemplo de su uso se observa en la Figura 5 (5).

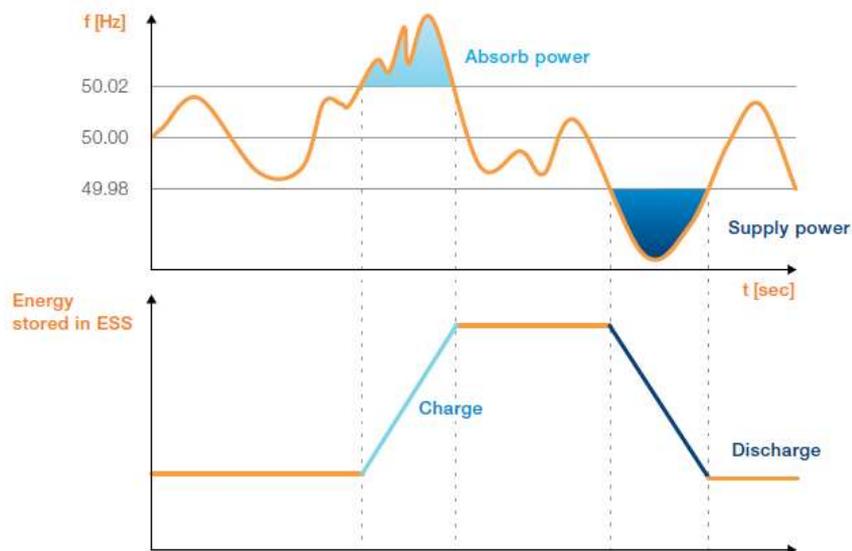


Figura 5. Regulación de frecuencia

#### 2.2.1.2 Soporte a la generación renovable

Tal y como se observa en la Figura 6, el sistema eléctrico español tiene una potencia instalada de 104.517 MW, de los cuales el 48% corresponde a energía renovable. Por otro lado, en la Figura 7 se tiene el balance de generación de energía eléctrica, donde se observa que las renovables representan el 38,8 % (6).

## Potencia instalada Enero 2018

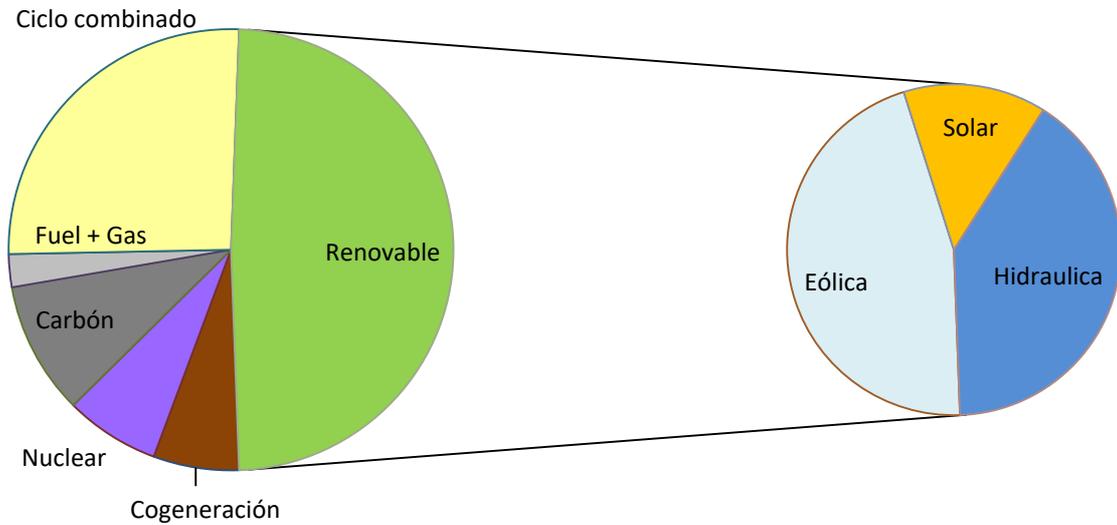


Figura 6. Potencia instalada a Enero de 2018

## Generación Enero 2018

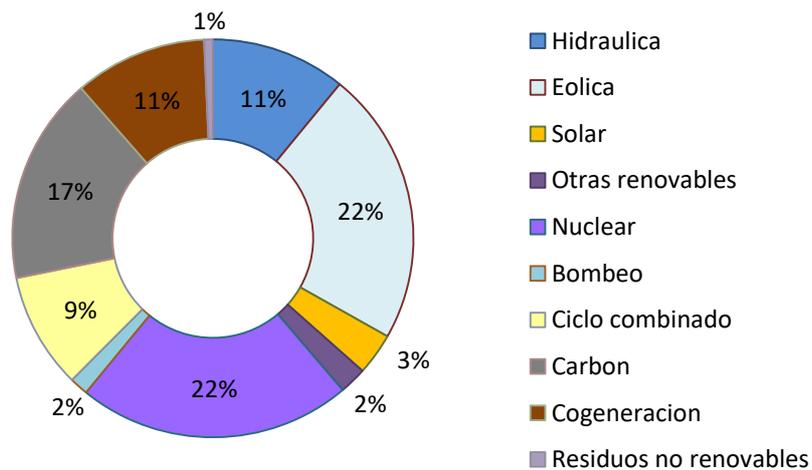


Figura 7. Generación a Enero de 2018

Las energías renovables, debido a su dependencia de la climatología, son muy difíciles de pronosticar y controlar, por lo que el sistema BESS sirve de apoyo cuando se prevea que alguna fuente renovable esté generando, pero por motivos climatológicos no proporcione energía. De esta manera, entra a funcionar el sistema de baterías en vez de hacer que la central térmica o cualquier otra planta de generación encargada de realizar funciones se seguimiento entre a funcionar para paliar ese déficit de energía. En la Figura 8 se observa el comportamiento de las baterías cuando realizan funciones de soporte a la generación renovable (5).



Figura 8. Soporte a la generación renovable

### 2.2.1.3 Amortiguación eléctrica en centrales de generación

Este sistema permite a las viejas centrales térmicas, que cuentan con elementos mecánicos sensibles y que requieren mucho mantenimiento, no realizar labores de seguimiento de la curva de demanda eléctrica en tiempo real, para lo que no fueron diseñadas, consiguiendo un significativo ahorro en mantenimiento de elementos críticos de la central como pueden ser las turbinas o generadores. Con lo que este sistema auxiliar dotará a la planta de la flexibilidad necesaria en un sistema eléctrico cada vez más influenciado por las energías renovables.

## 2.2.2 Transporte

### 2.2.2.1 Regulación de tensión y apoyo a subestaciones eléctricas

Una aplicación más es la de servir de respaldo en caso de emergencias o corte de energía, como por ejemplo manteniendo el funcionamiento de los servicios auxiliares de las subestaciones hasta que se arregle la falta. De la misma manera, su uso puede resultar atractivo a la hora de compensar la energía reactiva de la línea de transporte para tener más potencia activa disponible.

### 2.2.2.2 Reserva operativa

La reserva operativa es la capacidad de generación disponible para el operador del sistema dentro de un corto intervalo de tiempo para satisfacer la demanda en caso de que un generador se caiga o exista una interrupción del suministro.

Para proveer una reserva operativa efectiva, el sistema BESS debe mantener un mínimo nivel de carga preparado para responder en caso de que se den problemas de generación o transporte de energía. Dependiendo de la aplicación, el sistema puede responder en milisegundos o minutos y suministrar la potencia necesaria para mantener la continuidad de la red mientras el generador de apoyo empieza a generar energía, haciendo posible un uso óptimo de los generadores. También puede eliminar la necesidad de tener un generador de apoyo inactivo. La Figura 9 muestra el comportamiento del sistema BESS cuando se produce un fallo en la generación (5).

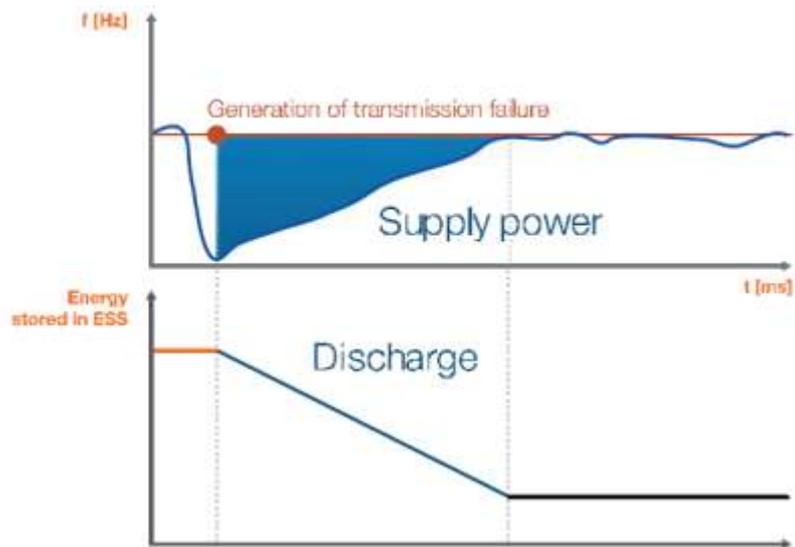


Figura 9. Reserva operativa

## 2.2.3 Distribución

### 2.2.3.1 Nivelación de carga

La nivelación de carga suele involucrar almacenamiento de energía durante períodos de poca demanda (valle) en el sistema y de entrega de energía en periodos donde la demanda es alta (punta). Durante estos períodos de alta demanda, el sistema BESS suministra potencia, reduciendo la carga de las centrales generadoras más costosas, permitiendo un ahorro. Esto permite posponer la inversión de nuevas centrales de generación para aumentar la capacidad del sistema. En la Figura 10 se observa un ejemplo de la aplicación (5).

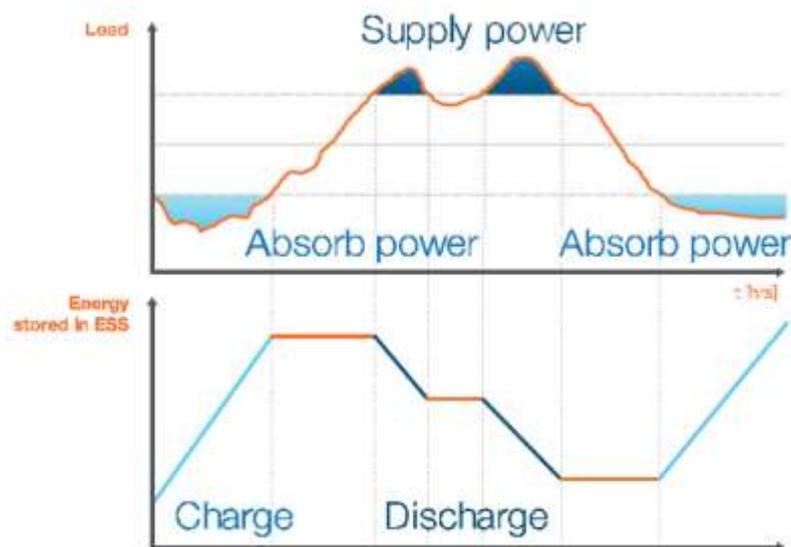


Figura 10. Nivelación de carga

Se puede hacer uso de la flexibilidad del sistema BESS en cuanto a su carga y descarga se refiere para comprar energía en horas donde su precio es barato, valle, y venderla cuando el precio de la misma sea más caro, punta, con lo que se obtiene un beneficio. Un ejemplo de este uso, es la planta de baterías de la empresa Tesla en la zona Sur de Australia, que da soporte a una empresa generadora y que en sólo dos días ha logrado producir unos ingresos de 650.000 euros (Figura 11).



Figura 11. Sistema BESS en Australia

### 2.2.3.2 Calidad de suministro

El sistema BESS ayuda a proteger las cargas aguas abajo frente a faltas de corta duración que afectan a la calidad de la energía entregada. De esta manera los consumidores finales evitan cortes de suministro, con lo que no interrumpen sus operaciones. Este fue el principal objetivo del proyecto de la instalación BESS en Australia, y el cual ha sido un rotundo éxito. Un ejemplo de esta aplicación se tiene en la Figura 12 (5).

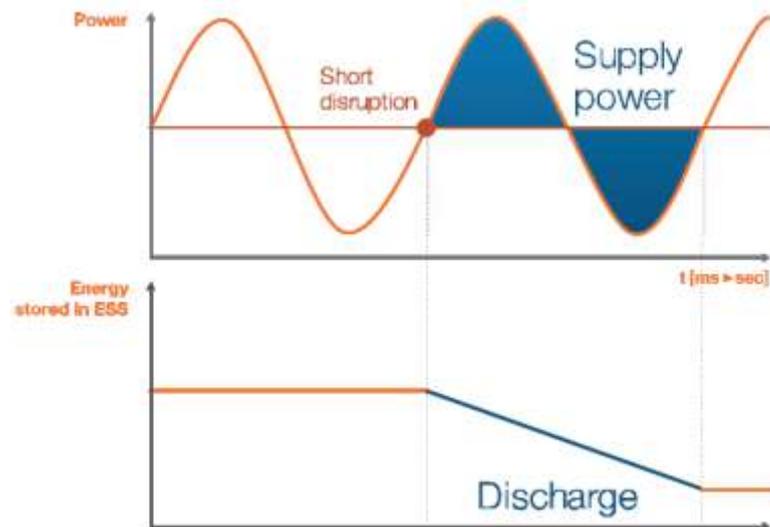


Figura 12. Calidad de suministro

### 2.2.3.3 Peak shaving

Es un uso similar al nivelado de carga, pero su propósito es reducir el pico de demanda más que conseguir una operación más económica. El objetivo es evitar la instalación de más capacidad de generación para suministrar en las puntas de demandas. Estas instalaciones suelen ser propiedad de grandes consumidores en vez de empresas de eléctricas. Un ejemplo de su uso se encuentra en la Figura 13 (5). Entre los beneficios se encuentran:

- La factura eléctrica de los clientes se ve reducida gracias a que la punta de demanda es más pequeña.
- Las empresas generadoras reducen el coste de generar energía durante las puntas de demandas.
- La inversión en infraestructura se ve reducida, puesto que la demanda de las cargas es más plana y las puntas de demanda son más pequeñas.

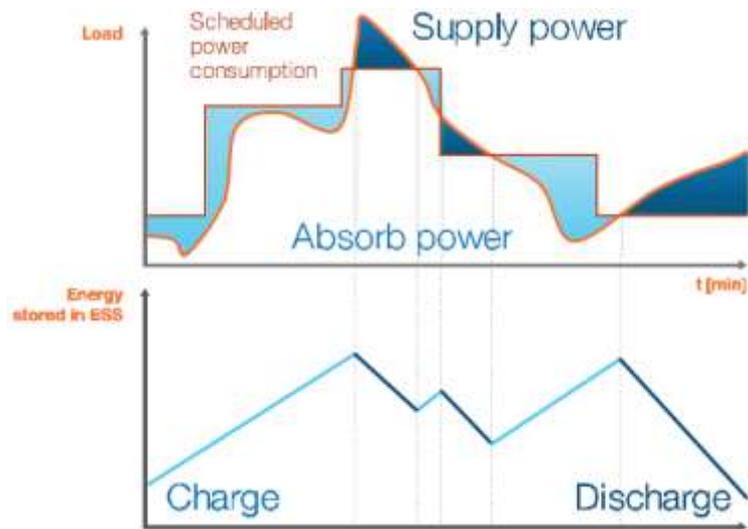


Figura 13. Peak Shaving



# 3 APLICACIÓN A CENTRALES TÉRMICAS

En este capítulo se tratará el uso de la tecnología BESS en una central térmica, aplicación que no resulta evidente a primera vista para este tipo de centrales, pero de la que se puede conseguir un aumento de la vida útil de los equipos más críticos de la central térmica. Esta aplicación cobra sentido conforme las energías renovables se introducen cada vez más en el sistema eléctrico puesto que le aporta flexibilidad al mismo.

## 3.1 Funcionamiento actual de una central térmica

Un esquema muy simplificado de una central térmica se muestra en la Figura 14, donde se observan los principales componentes de la misma. Básicamente, su funcionamiento consiste en generar electricidad a partir del movimiento de una turbina producido por el vapor proveniente de la caldera. Esta energía la produce en base a la planificación que recibe del operador del sistema, es decir, Red Eléctrica de España. En la actualidad, y aumentado cada día, las energías renovables tienen preferencia a la hora de entrar en el mercado eléctrico, por lo que muchas de estas centrales térmicas están siendo usadas por debajo de la potencia nominal diseñada hace años, es decir, REE no les asigna una generación acorde a su capacidad de generación. Debido a las características explicadas anteriormente de las energías renovables, las centrales térmicas ejercen funciones para las que no fueron diseñadas, con el consiguiente aumento en el mantenimiento de elementos críticos.



Figura 14 Esquema de funcionamiento de una central térmica

Para el presente proyecto, se va a suponer una central térmica con una capacidad de generación de 1200 MW, formada por dos grupos de turbinas de 600 MW cada una. Las unidades generadoras, estarán conectadas a 400 kV a través de un generador elevador transformador principal de relación de transformación 20/410. Cada generador, con el fin de suministrar los servicios auxiliares (SS.AA.) de la planta, tiene dos transformadores auxiliares conectados a la parte de baja tensión de los transformadores elevadores principales. Cada transformador auxiliar, alimenta a una barra principal compuesta por tres barras colectoras de 6 kV.

Una vez esté implementado el sistema BESS, dará capacidad a la central térmica en su conjunto para realizar funciones de seguimiento de la demanda en tiempo real, además de poder regular la frecuencia de la red en caso de que el operador del sistema eléctrico lo necesite. Como consecuencia, se tiene también una considerable reducción en el mantenimiento de los equipos principales de la central, como son las turbinas y generadores, obteniéndose una reducción considerable del presupuesto en esa partida.

## 3.2 Configuración del sistema BESS en la central térmica

El sistema BESS más simple se compone de dos contenedores, Energy House (EH) y Power House (PH). El

contenedor EH esta constituido por cadenas de baterías de tecnología ion-Litio en este caso, y de un inversor que transforme la corriente de alterna a continua cuando las baterías estén siendo cargadas o de continua a alterna cuando las baterías estén vertiendo energía en la central. Los contenedores EH están constituidos por tres buses de CC aislados unos de otros. Por otro lado, los contenedores PH se componen de un transformador de MT/BT y de tres inversores de potencia, uno por cada bus de CC del contenedor EH.

El transformador MT/BT conecta los contenedores EH y PH con las celdas de media tensión situadas en el edificio de control del sistema BESS. La interconexión con la planta térmica se realiza a través de dos nuevos transformadores auxiliares, también en 20kV. Se ha decidido esta configuración para evitar modificaciones en las barras de fase aislada de 20kV, para facilitar los trabajos de desconexión de los transformadores antiguos y conexión de los nuevos y por el hecho de añadir cierta redundancia al sistema BESS, de manera que esté siempre operativo. Estos transformadores nunca pueden trabajar en paralelo debido a que la corriente de cortocircuito que se puede llegar a producir excedería el poder de corte de los disyuntores existentes. En la Figura 15 se muestra un esquema que simplifica la instalación del parque de baterías que conforma el elemento más importante del sistema BESS.

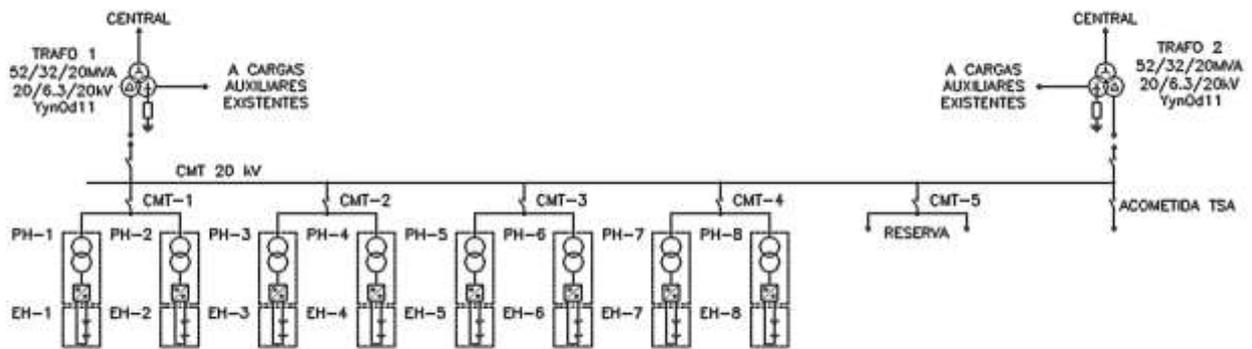


Figura 15. Esquema general del sistema BESS

En la figura 16 se muestran los dos tipos contenedores existentes, formando una unidad BESS operativa. El sistema en estudio tendrá ocho unidades como ésta, es decir dieciséis contenedores (ocho pares EH-PH).

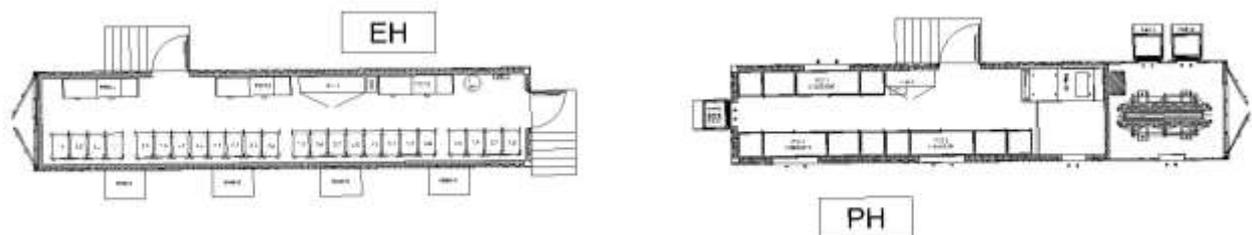


Figura 16. Par de contenedores EH-PH

Para el control del sistema en función de las necesidades de generación, se tienen dos posibles estrategias. La primera de ellas es una estrategia descentralizada, en la cual el EMS de la sala de control controla y gestiona las distintas variables de las baterías continuamente. Así, en caso de necesidad el EMS ordena a los distintos BMS, situados dentro de cada unidad PCS del contenedor PH, que o bien viertan energía a la central térmica o bien se carguen con la generación de la misma. Con lo que se puede decir que el control del sistema está localizado en la misma zona de generación. En la Figura 17 se observa la comunicación entre estos dos sistemas.

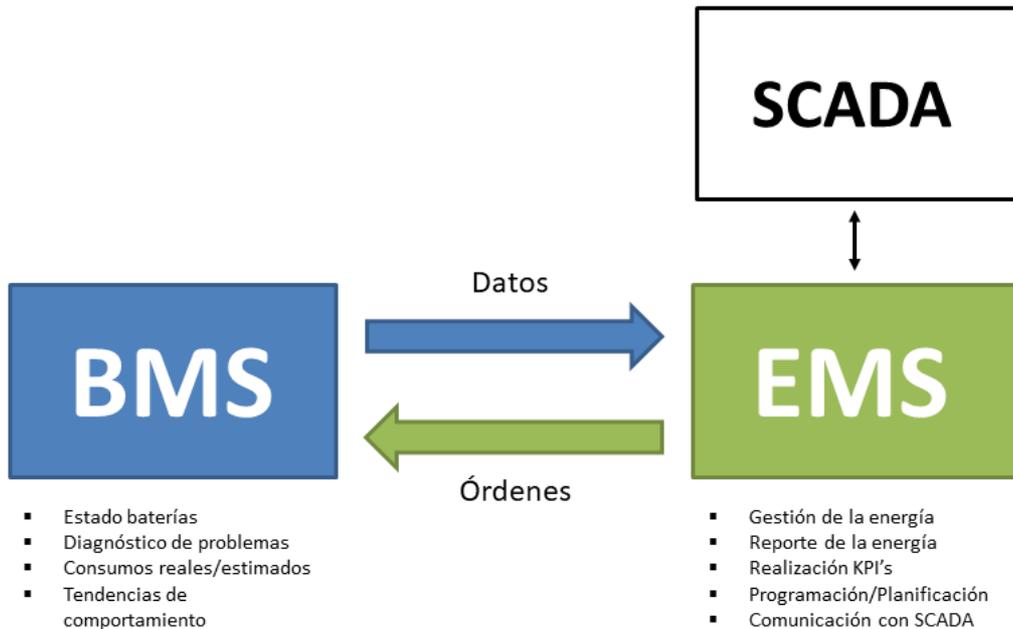


Figura 17. Comunicación BMS-EMS

La segunda alternativa, es centralizar el control de toda la generación del cliente en una misma sala de control, como por ejemplo en la oficina central de la compañía. Se trata de una comunicación entre la AGC (Automatic Generation Control), localizada en dicha oficina, y las BMS de las baterías de la central térmica. Con esta alternativa, la compañía consigue un completo control sobre cada una de sus centrales de generación y equipos de almacenamiento desde un mismo lugar, centralizando las distintas decisiones desde allí. En este caso, también existiría la EMS sólo que actúa como una pasarela, la cual sólo observa el flujo de información entre la AGC y los BMS. En la Figura 18 se tiene un esquema de dicho flujo de información.

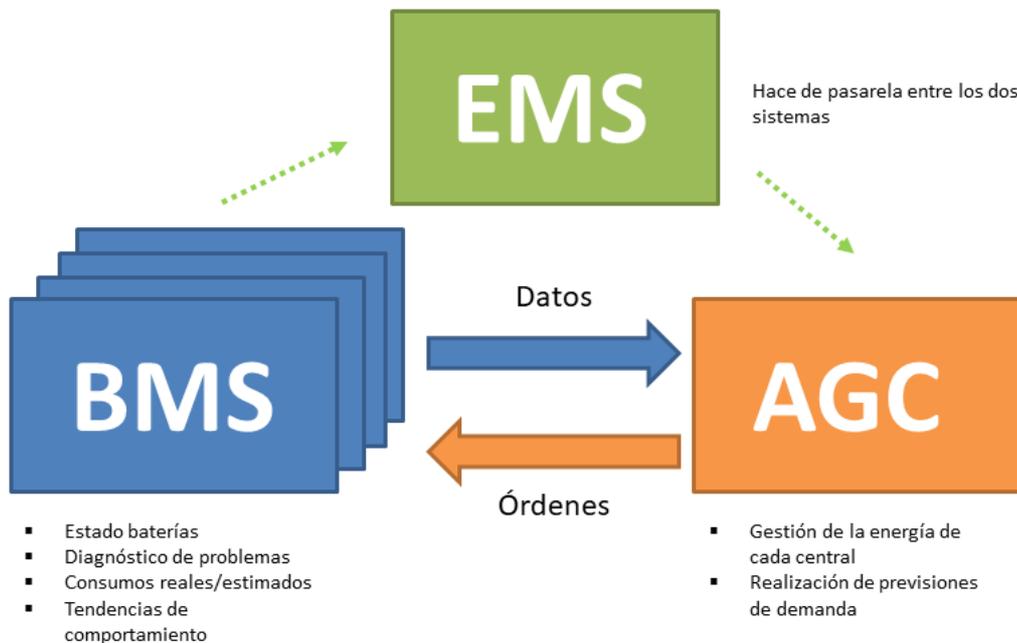


Figura 18. Comunicación BMS-AGC

En este último caso, el sistema SCADA para visualizar y controlar los distintos sistemas, se situará en la central de la compañía de forma que sea capaz de enviar consignas visualizando toda la información y previsiones en tiempo real desde un mismo lugar.



# 4 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA

---

En este capítulo, se describen los distintos elementos que son necesarios para que el sistema BESS esté correctamente integrado dentro del esquema de la central térmica y funcione como se espera de él. Se han clasificado dichos elementos en equipos principales, instalaciones de control, protección y comunicaciones e instalaciones auxiliares.

## 4.1 Equipos principales

Dentro de este apartado se van a clasificar los distintos elementos que son básicos para el funcionamiento del sistema BESS. Desde los equipos que transforman la potencia como los transformadores hasta los equipos que controlan las distintas variables del sistema, todo esto conectado mediante el cableado necesario según los niveles de potencia requeridos y con instalaciones auxiliares que aseguran tanto el comfort en la zona de trabajo como la protección contra sobretensiones tipo rayo del sistema.

### 4.1.1 Transformadores de potencia

Como se ha mencionado en el apartado anterior, por motivos de seguridad en el funcionamiento del sistema BESS, se prevén dos transformadores de potencia idénticos, que no podrán funcionar a la misma vez y que es conveniente su instalación para ofrecerle al sistema una redundancia. Por lo tanto, cada transformador deberá ser capaz de transformar como mínimo toda la potencia del sistema BESS.

### 4.1.2 Cabinas de Media Tensión

El conjunto de las celdas conectadas entre sí conforman un mismo embarrado a 20 kV. Se encontrarán situadas en el edificio de control dentro de la sala de celdas y se pueden distinguir cuatro tipos de celdas:

- Celdas de media tensión: Tienen por objetivo alimentar los contenedores PH desde los transformadores de potencia del sistema auxiliar de la central. Se trata de celdas de línea donde cada celda alimentará a dos contenedores, por lo que existirán cuatro celdas de acometida más una de reserva.
- Celda de medida y protección en barras: Esta celda recogerá toda la información de los sistemas auxiliares de medida del sistema BESS para activar las protecciones en caso de que fuera necesario.
- Celda del transformador de SS.AA: Se trata de una celda de protección del transformador auxiliar. La acometida a la celda se realiza desde embarrado de 20 kV que forma el conjunto de celdas conectadas entre sí. Cuenta con transformadores de intensidad para enviar la medida al armario de medida del BESS y para realizar funciones de protección siguiendo la intensidad que circula por la celda.
- Celdas de acometida: Conectarán los transformadores de potencia auxiliares de la central con las barras de 20 kV del conjunto de celdas para entregarles energía. Estas celdas cuentan con una serie de medidas para controlar la energía que el sistema BESS vierte a la central y con una serie de protecciones para el sistema. Por las características del sistema antes mencionadas, existirán dos celdas de este tipo, una por cada transformador auxiliar de la central. Estas acometidas estarán enclavadas eléctricamente de manera que impida que ambos interruptores estén cerrados en posición de insertado.

Para el diseño de las cabinas de MT, las celdas deben seguir el Reglamento de Alta Tensión según el R.D. 337/2014 sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias.

### 4.1.3 Transformador de Servicios Auxiliares

Este transformador, situado en el edificio de control del BESS y alimentado desde el embarrado de media tensión existente entre los transformadores principales y los contenedores del BESS, se encargará de proporcionar energía a las cargas auxiliares del parque donde irán situadas las baterías, como son los equipos de climatización, iluminación y tomas de corriente que existirán en el mismo.

### 4.1.4 Cuadros

#### 4.1.4.1 Cuadros de BT en CA

Si el trafo de SS.AA. alimentaba a las cargas auxiliares situadas en el parque de baterías, este cuadro se encarga del control y protección de las mismas. Debe existir una selectividad con las protecciones aguas arriba del mismo, es decir, la celda de media tensión de alimentación al trado de SS.AA., para que en caso de fallo actúen las protecciones adecuadamente. En otras palabras, si existe una falta en alguna carga auxiliar, deben actuar las protecciones del cuadro inmediatamente aguas arriba de la carga, y no las del embarrado de media tensión. Existirán dos cuadros de baja tensión (CBT), el CBT que alimentará a las acometidas en CA de los containers, la fuerza y alumbrado tanto del parque como del edificio del control, y el cuadro de servicios vitales (CSV) que alimentará a los servicios vitales de los containers, como la climatización y la comunicación con el PLC. Ambos cuadros son alimentados desde posiciones distintas, pero existe una conmutación para que en caso de falta en alguno de los transformadores aguas arriba, exista siempre una alimentación, sobretodo para los servicios vitales.

#### 4.1.4.2 Cuadros de BT en CC

Al igual que el cuadro para la corriente alterna, éste se encarga de la protección de las cargas en CC situadas en los contenedores. Las cargas son alimentadas directamente desde la central a unos 400 metros de distancia. Además, este cuadro protege también a la UPS (Uninterruptible Power Supply), situada en el mismo edificio de control y los relés de protección de las celdas de media tensión de las que salen las líneas hacia los contenedores.

#### 4.1.4.3 Inversor

Realiza las funciones de una unidad UPS ya que en vez de llevar baterías incorporadas, lo que tiene es una alimentación en corriente continua proveniente de la central térmica. También conocido como SAI (Sistema de Alimentación Ininterrumpida), es un equipo que tiene como función proteger los datos de los sistemas electrónicos en caso de corte de suministro. Por lo tanto, el UPS se encargará de ofrecerles protección a los equipos críticos del sistema BESS, como por ejemplo, los equipos de refrigeración de las baterías, SCADA, etc. Este inversor alimentará a un cuadro de baja tensión que lleva el nombre de UPS/inversor.

### 4.1.5 Cableado de potencia

Las centrales térmicas suelen construirse en zonas costeras, con lo que los cables deben asegurar siempre una correcta protección para ambientes de alta salinidad. Se distinguen:

#### 4.1.5.1 Cable de MT

Los conductores de media tensión conectarán los transformadores de cada contenedor PH con los nuevos transformadores auxiliares instalados para la ocasión en la planta de térmica, pasando por el edificio de control del BESS.

Las centrales térmicas se suelen construir cerca del mar, por lo que el ambiente es salino. Por ello los cables de media tensión deberán estar adecuadamente protegidos, para ello tendrán las siguientes características:

- Aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) para soportar el elevado campo eléctrico presente en el

interior del cable.

- Pantallas semiconductoras sobre el conductor y sobre el aislamiento y con pantalla metálica de hilos de cobre en hélice con cinta de cobre a contraespira con solape. Ambas pantallas estarán en contacto para así evitar perturbaciones electromagnéticas del exterior y las inducidas por el cable.
- Cubierta exterior de poliolefina que protege al cable de las agresiones mecánicas y químicas del entorno.
- Obturación longitudinal de material higroscópico para impedir la propagación longitudinal del agua.

#### **4.1.5.2 Cable de BT**

Se tendrán dos tipos de cables, en corriente alterna y en continua. Los conductores de baja tensión en CA se encargarán de alimentar los servicios auxiliares de los containers, la fuerza y el alumbrado exterior del parque de baterías y del edificio de control. Por otro lado, los cables en CC que alimentarán a los servicios vitales en continua de los containers y al rectificador/UPS.

Al igual que con el conductor de media tensión, los cables de baja tensión deberán ir correctamente protegidos por lo que se opta por un cable RZ1-K de alta seguridad, que a diferencia del anterior, no cuenta con pantallas ni obturación longitudinal.

## **4.2 Instalaciones de control, protección y comunicaciones**

Dentro de este apartado se distinguirán tres niveles en las instalaciones, de menor a mayor nivel de importancia en las comunicaciones se tendrán:

- Nivel de contenedores. Comunicaciones para cada container y sistema de emergencia para cada container.
- Nivel de sistema BESS. Comunicaciones y control de todo el sistema de baterías según las distintas medidas que se vayan tomando y las consignas enviadas desde la central.
- Nivel de la central térmica. Se tratan las comunicaciones entre el sistema BESS y la central térmica.

Todas estas comunicaciones se efectuarán con cables de control y comunicaciones. Se distinguirán según sean cables para instrumentación, control o medida. Su función es la de enviar las señales de los distintos equipos de control, protección y comunicación con los sistemas de control (SCADA), protección, relés y protección contra incendios (PCI), y comunicaciones con la central térmica

Todos estos cables estarán correctamente protegidos frente a la humedad y a las interferencias electromagnéticas para disminuir el posible ruido electromagnético que puede afectar a la calidad de las comunicaciones y control de la instalación.

A su vez, según el nivel de comunicación existirá un SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) distinto. Un SCADA es una aplicación software con acceso al sistema que en este caso controlará el estado del sistema que se está monitorizando mediante una interfaz gráfica de alto nivel con el usuario.

## **4.3 Instalaciones auxiliares**

### **4.3.1 Protección contra incendios (PCI)**

#### **4.3.1.1 Parque intemperie**

En el parque intemperie la protección contra incendios estará enfocada dentro de los containers, único lugar en el que debido a la gran cantidad de equipos electrónicos funcionando continuamente se hace necesaria una protección de este tipo. La protección consta de un cableado especial desde los containers hasta el edificio de control, conectando con la centralita de PCI y el SCADA del edificio. Por otro lado, aunque la protección contra incendios dentro de los containers no es alcance de este proyecto, cabe destacar el uso del líquido NOVEC 1230 en lugar de gas halón para la extinción de los incendios en equipos electrónicos.

### 4.3.1.2 Interior del edificio control

Al contrario que en el parque de baterías, en el edificio de control aplica el reglamento de seguridad en los establecimientos industriales según el Real Decreto 2267/2004 del 3 de Diciembre (7), que se usará en el diseño del PCI del edificio. Por este motivo la estructura del mismo debe de soportar el fuego durante el tiempo estimado según la normativa existente.

### 4.3.2 Iluminación

El sistema de alumbrado tiene como función, garantizar los niveles de iluminación idóneos para las distintas partes de la instalación y estará compuesto por el tipo de iluminación más apropiado para cada zona o dependencia con el objeto de poder realizar las operaciones necesarias de cada proceso.

#### 4.3.2.1 Parque intemperie

Para la iluminación del parque de baterías, se hará uso de las prescripciones mínimas que establece el Real Decreto 486/97 (8) sobre los lugares de trabajo, centrándose en el exterior. Este es un criterio que siempre se debe cumplir, aunque si el cliente deseará más nivel de iluminación, siempre que este dentro de los límites que establece la ley, se hará según los deseos del cliente. La iluminación se centrará en los accesos a los containers y en los viales por donde puede existir paso de personas tal y como se verá en el diseño del alumbrado. En este apartado se incluye, también la iluminación exterior del edificio de control.

#### 4.3.2.2 Interior de edificio de control

Para la iluminación interior se procederá de manera similar, cumpliendo siempre los requisitos mínimos establecidos por la ley en espacios interiores.

Dentro del edificio existirá también alumbrado de emergencia, destinado a asegurar en caso de fallo de la alimentación al alumbrado normal, la iluminación del edificio y señalización de accesos hasta las salidas para una eventual evacuación en caso de emergencia.

En la Tabla 2 se pueden observar los distintos niveles según lo establecido por el Real Decreto R.D. 487/97 (8).

NIVELES DE ILUMINACIÓN		
ZONAS, ACTIVIDADES, TAREAS	ISO 8995/89 GAMA DE VALORES LUX	R.D. 486/97 (VALORES MÍNIMOS)
ÁREAS DE TRABAJO O DE CIRCULACIÓN EXTERIOS	20 - 30 - 50	25
ÁREAS DE CIRCULACIÓN: ORIENTACIÓN O ESTANCIAS CORTAS	50 - 100 - 150	50
ÁREAS NO UTILIZADAS PARA TRABAJAR	100 - 150 - 200	100
TAREAS CON EXIGENCIAS VISUALES ESCASAS	200 - 300 - 500	100
TAREAS CON EXIGENCIAS VISUALES MEDIAS	300 - 500 - 750	200
TAREAS CON EXIGENCIAS VISUALES ALTAS	500 - 750 - 1000	500
TAREAS CON EXIGENCIAS VISUALES DIFÍCILES	750 - 1000 - 1500	500
TAREAS CON EXIGENCIAS VISUALES PARTICULARES	1000 - 1500 - 2000	500
TAREAS QUE REQUIEREN UNA PRECISION VISUAL GRANDE	>2000	1000

Tabla 2. Niveles mínimos de iluminación

### **4.3.3 Climatización**

Los containers cuentan con climatización ya instalada por la compañía que los fabrica, ofreciendo así un producto completo con la única necesidad de ser instalado e integrado dentro de todo el sistema BESS. Por otro lado, la instalación de clima del edificio de control sí es objeto de diseño. Para ello se tendrá en cuenta la normativa aplicable en este contexto, el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) (9) y sus Instrucciones Técnicas (IT) (Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio) además del Código Técnico de Edificación (CTE) (10) y del Real Decreto 486/97 sobre Lugares de Trabajo y el rango de temperatura en el que pueden funcionar los equipos instalados en el interior de edificio.

En el edificio es necesaria una refrigeración debido a la cantidad de equipos con disipación térmica existentes (cuadros eléctricos, celdas y transformador), de manera que sea la época del año que sea, la temperatura de la zona de trabajo sea confortable para el trabajador. Dentro del edificio de control se distinguen dos salas, la sala de celdas, donde la presencia humana será puntual y la sala de control donde puede ser más habitual la presencia de trabajadores y que por lo tanto debe resultar confortable para los mismos.

### **4.3.4 Pararrayos**

Es necesario proteger el sistema BESS frente a sobretensiones de tipo rayo, puesto que la frecuencia anual media de impactos directos de rayos esperados en una estructura será mayor que la frecuencia anual media aceptable de rayos sobre una estructura, de acuerdo al Código Técnico de la Edificación en su apartado Seguridad de Utilización y Accesibilidad sección 8 (CTE-SUA8) (10). Por ello, la propia central térmica cuenta con protecciones frente a este tipo de fenómenos, pero debido a que la instalación en estudio se queda fuera del alcance de dichas protecciones se hace necesario la instalación de un pararrayo adicional. Este pararrayo será instalado en el edificio de control de la instalación, y será del tipo PDC (Pararrayos con Dipositivo de Cebado) de clase IV.



# 5 DISEÑO DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA

En este apartado se trata el diseño de cada uno de los componentes descritos en el capítulo cuarto con una descripción de los cálculos realizados, normativa aplicada e hipótesis aplicadas y el posterior resultado al que se ha llegado y gracias al cual se ha diseñado el presente sistema BESS. Los cálculos mostrados en este capítulo se encuentran desarrollados y correctamente explicados y demostrados en el capítulo sexto “Justificación y cálculos del conjunto”.

## 5.1 Diseño del sistema BESS

El sistema BESS tendrá una potencia medida en 20 kV de 20 MW con una capacidad de almacenamiento de 10 MWh según las especificaciones del cliente.

En la siguiente figura se tiene un esquema muy general de los distintos cuadros, celdas y transformadores existentes en el sistema y que por su complejidad se ha decidido esquematizar como se representa en la Figura 20.

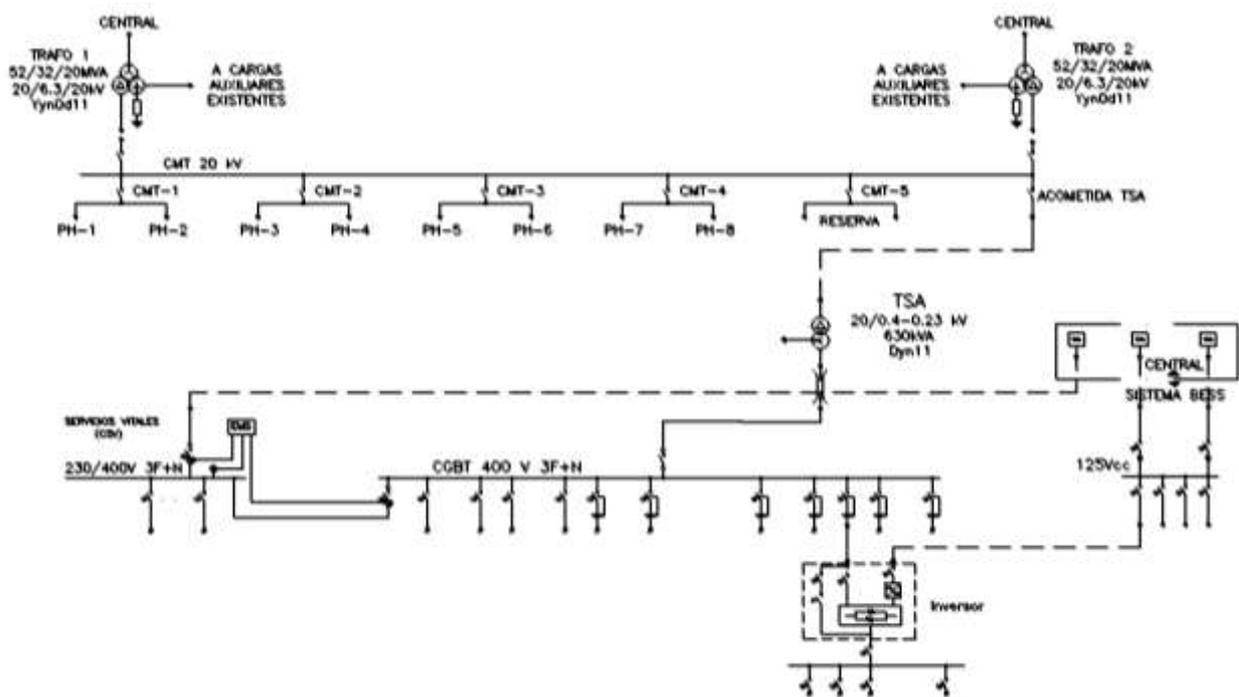


Figura 19. Esquema general de la instalación

Por lo tanto, se puede decir que:

- La barra auxiliar de 20 kV es alimentada por los dos transformadores auxiliares de la central y suministra energía a las seis celdas de MT, cinco para los containers y una para la acometida del trafo de SS.AA.
- El transformador de SS.AA. alimenta al CGBT en 400 V, desde el cual se deriva al cuadro de servicios vitales (CSV) y a la unidad UPS.
- Desde la central, se alimenta en corriente alterna segura a 230 V al CSV. También, se alimenta en corriente continua al cuadro de 125 Vcc y al inversor del UPS.

## 5.2 Diseño de los Transformadores auxiliares

Para el dimensionamiento de estos transformadores se debe tener en cuenta que ambos deben tener las mismas características puesto que no pueden funcionar a la misma vez. También, es recomendable sobredimensionar los transformadores para que en caso de ampliación del sistema BESS, no haya que cambiarlos. Estos transformadores conectarán la central, la barra auxiliar donde se implementará el sistema BESS y el transformador de servicios auxiliares situado en el edificio de control, por lo que deberán ser de tres devanados con una tensión 20/6,3/20 kV respectivamente. De la misma manera, la potencia será de 52/32/20 MVA, siendo el devanado terciario, conectado en triángulo aislado de tierra para evitar posibles faltas a tierra, para la instalación BESS.

## 5.3 Diseño del Transformador de SS.AA.

Previamente a su diseño, es necesario elaborar un balance de potencias de todas las cargas auxiliares a las que alimentará, el cual se encuentra en el apartado 6.2 del capítulo sexto, obteniéndose del mismo una potencia de 527 kVA. De la misma manera que para los transformadores auxiliares y por motivos comerciales, se decide instalar un transformador de 630 kVA.

## 5.4 Diseño de las Cabinas de MT

Para el diseño de las celdas del edificio de control, tal y como se ha mencionado anteriormente hay que cumplir el Reglamento de Alta Tensión (RAT) del año 2014. Además se deberán cumplir los requisitos del cliente, con lo que al tratarse de una instalación auxiliar de una central térmica las celdas prefabricadas cumplirán los siguientes criterios:

- Nivel de aislamiento. Está definido por las tensiones soportadas nominales a los impulsos tipo rayo y a las tensiones soportadas nominales a frecuencia industrial de corta duración. Toda la armadura de MT del edificio de control debe ser del mismo nivel de aislamiento, por lo que se adoptará el descrito a continuación para todas las celdas. En la tabla 1 de la ITC-RAT-12 (11) para una tensión nominal de 20 kV, corresponde una tensión mas elevada de la red de 24 kV según la ITC-RAT-4 (11) y según la citada tabla, el nivel de aislamiento es:
  - Tensión nominal soportada a impulso tipo rayo: 125 kV
  - Tensión soportada de corta duración a frecuencia industrial: 50 kV
- Intensidad de corta duración. Los juegos de barras y los interruptores deben soportar las intensidades de cortocircuito que se puedan presentar en el punto de la instalación. Según el estudio de cortocircuito facilitado por la central, en el juego de barras de 20 kV existirá una corriente de cortocircuito de 20 kA, luego, los distintos interruptores deben de tener un poder de cierre en cortocircuito mayor al valor pico de la intensidad de cortocircuito en ese punto, por lo que deberá ser de 25 kA.
- Intensidad nominal. Debe ser mayor a la demanda. Esta condición siempre se cumple como consecuencia de que los bornes y contactos del interruptor se dimensionan para soportar los esfuerzos de la intensidad de cortocircuito, dando como resultado unos contactos que soportan permanentemente intensidades muy superiores a las normales. En cuanto a exigencias normativas, el RAT no prevé ninguna debido a lo explicado anteriormente pero el cliente, que también es compañía, indica que la intensidad nominal no debe ser inferior a 400 A. Este último criterio se cumple de sobra puesto que se prevé una intensidad nominal de 1250 A en el juego de barras de MT.

Luego las celdas tendrán que tener las siguientes características generales:

- Tensión asignada: 24 kV
- Frecuencia: 50 Hz
- Corriente asignada: 1250 A
- Tensión nominal soportada a impulso tipo rayo: 125 kV
- Tensión soportada de corta duración a frecuencia industrial: 50 kV
- Corriente de cortocircuito: 25 kA
- Poder de cierre del interruptor principal: 25 kA

En cuanto a las características de cada tipo de celda, se muestran en la Tabla 3:

	Celda acometida	Celdas salida de línea	Celda de protección trafo SS.AA.	Celda de medida y PaT barras
<b>Cantidad</b>	2	5	1	1
<b>Seccionador puesta a tierra</b>	1 por celda	1 por celda	N/A	N/A
Tipo	tripolar	tripolar	-	-
Corriente nominal (A)	1250	630	-	-
<b>Interruptor automatico</b>	1 por celda	1 por celda	N/A	N/A
Tipo	tripolar, corte en vacío	tripolar, corte en vacío	-	-
Corriente nominal (A)	1250	630	-	-
Corriente de cortocircuito (kA)	25	25	-	-
Corriente admisible valor cresta (kA)	63	-	-	-
<b>Transformadores de Intensidad (TIs)</b>	4 x 3 TI por celda	3 por cada celda	3 protección y 3 medida	N/A
Relación (A)	(1000/1); (1000/5); (1000/5); (1000/5);	200/5	50/5	-
Potencia (VA)	50;15;15;15	15	15	-
Clase	5P20; CLO,2S; 5P10; CLO,5	5P10	5P10	-
<b>Trandormadores de Tensión (TTs)</b>	1 con 2 secundarios por celda	-	-	1 con 3 secundarios
Relación (V)	$(20000/\sqrt{3})/(100/\sqrt{3})/(100/\sqrt{3})$	-	-	$(20000/\sqrt{3})/(100/\sqrt{3})/(100/\sqrt{3})$
Potencia (VA)	15/15	-	-	25/15/15
Precisión	0,5/3P	-	-	0,2/0,5/3P

Tabla 3. Características de las celdas de MT

## 5.5 Diseño de Circuitos

A la hora de diseñar los circuitos, se ha aplicado la normativa vigente a los distintos casos en estudio.

### 5.5.1 Circuitos de MT

En la media tensión, se ha aplicado el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09 (12). Los circuitos existentes son:

- De los transformadores auxiliares hacia las celdas de MT de cada container.
- De las celdas de MT a los transformaciones de potencia de cada container PH.
- Desde la central térmica al transformador de servicios auxiliares de 630 kVA situado en el edificio de control.

Para que los circuitos estén correctamente dimensionados, es necesario que la sección de cada uno cumplan los siguientes criterios:

- Densidad de carga permanente, según la ITC-LAT 06 apartado 6.1 (12).
  - Cables de media tensión para transformadores auxiliares de 30 MVA.

El modo de instalación contemplado es enterrado bajo tubo. Con esta instalación, hay tramos donde coinciden las alimentaciones de ambos transformadores auxiliares en la misma canalización.

Como ambos transformadores no funcionarán a la vez se tiene en cuenta que el cableado de un trafa no afectará al otro, térmicamente hablando.

Dicho esto, se procede a aplicar la normativa teniendo en cuenta los distintos factores de corrección según el modo de instalación y las condiciones del terreno, resultando de 0,686. La intensidad de cálculo por su parte, es de 866 A que al aplicarle el factor de corrección se obtiene una intensidad corregida de 1263 A.

Con esta intensidad, es menester instalar tres cables unipolares por fase de 300 mm<sup>2</sup> en cobre.

Por lo tanto, se puede decir que bajo una misma canalización habrá siempre un conjunto de tres ternas de cables funcionando.

- Cables de media tensión para containers PH.

La instalación de los cables que alimentan a los containers se hará en una zanja bajo tubo enterrado. Cada transformador de cada container está alimentado por una alimentación en media tensión de tres cables de cobre, un cable por fase. Por lo tanto la mejor forma de acometer a cada container es mediante una canalización enterrada que terminase en una arqueta, desde la cual saldrían los cables a través de una bandeja en montaje superficial por debajo del container hasta llegar a la entrada del mismo verticalmente.

El momento más desfavorable de dicha instalación es en el edificio de control, cuando salen las ocho alimentaciones de los containers en una canalización de doce tubos. Para el dimensionamiento de los conductores se va a calcular únicamente el caso más desfavorable, canalización de doce tubos. Así, teniendo en cuenta que el transformador de cada container es de 2,7 MVA, se obtiene una intensidad de 78 A por container que aplicándole el factor corrector global, 0,5096, se tiene una intensidad corregida de 153 A.

Como se verá en el cálculo de sección por cortocircuito, todo cable de MT en la instalación deberá tener una sección como mínimo de 185 mm<sup>2</sup> con lo que cada cada container contará con un cable unipolar por fase de 185 mm<sup>2</sup>.

- Cables de media tensión para transformador de SS.AA de 630 kVA.

Al igual que en el primer caso, la instalación será bajo tubo enterrada. En el edificio de control, existe un foso por donde discurrirán los cables de media tensión para salir al exterior, por lo que el circuito del transformador de SS.AA. se encontrará con los cables de las dos alimentaciones y con las ocho alimentaciones a los containers PH.

Aplicando la normativa de manera análoga a los casos anteriores, se obtiene un factor de corrección global de 0,5544 y una intensidad de cálculo de 18,18 A. Una vez corregida, la intensidad tiene un valor de 33 A.

Para este caso, el criterio de sección por cortocircuito es el que impera.

- Sección por cortocircuito, de acuerdo a la ITC-LAT 06, apartado 6.2 (12).

Este cálculo trata de hallar la sección a partir de la cual el conductor es capaz de aguantar un cortocircuito hasta que las protecciones actúen. Del estudio de cortocircuito se tiene que la corriente de cortocircuito es de 25 kA aproximadamente con lo que aplicando la normativa resulta una sección de 175 mm<sup>2</sup>, que comercialmente se traduce en 185 mm<sup>2</sup>.

Todos los cables serán del tipo:

**RHZ1-OL 18/30 kV 1 x XXX mm<sup>2</sup> K Cu + H16**

Donde:

- Aislamiento: R, polietileno reticulado.
- Pantallas: H, pantallas semiconductoras sobre el conductor y sobre el aislamiento y con pantalla metálica de hilos de cobre en hélice con cinta de cobre a contraespira con solape.
- Cubierta exterior: Z1, a base de poliolefinas.
- Obturación longitudinal: OL, obturación longitudinal.
- Tensión asignada del cable, se expresará en kV y designará los valores de  $U_0$  y de  $U$ , en la forma  $U_0/U$ .

Indicaciones relativas al conductor y a la pantalla metálica:

- La cifra 1, correspondiente a un solo conductor, seguida del signo x.
- XXX, La sección nominal del conductor, expresada en mm<sup>2</sup>.
- La letra K, indicativa de que el conductor es circular y compacto.
- Las letras Cu, indicativas de que el conductor es de Cobre.
- El signo +, seguido de la letra H y de la sección de la pantalla metálica de cobre, en mm<sup>2</sup>

### 5.5.2 Circuitos de BT

Los circuitos de BT parten en su mayoría del cuadro general de baja tensión instalado en el edificio de control que es alimentado por el transformador de SS.AA. De igual forma, hay que diferenciar los circuitos que son en corriente alterna de los que son en corriente continua para poder dimensionarlos con sus protecciones. Todos los circuitos han sido dimensionados según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) (13) . Para la sección de los conductores, se ha usado la UNE-HD-60364-5-52 (14), que sustituye a la ITC-BT-07, Redes subterráneas para distribución en BT, descrita en la UNE 20435.

El balance de potencias de las cargas en BT, aplicando los criterios del REBT, se muestra en el capítulo sexto.

#### 5.5.2.1 Circuitos en C.A.

Los circuitos de corriente alterna comprenderán las cargas auxiliares de los containers, la climatización y los servicios auxiliares de los mismos, el alumbrado y la fuerza del parque de baterías y del edificio de control además de la climatización del edificio y de las cargas de reserva. Estas cargas son alimentadas desde el CGBT mientras que existe un receptor, los servicios vitales del sistema EMS (Energy Management System) que será alimentado desde un cuadro de servicios vitales, CSV, que a su vez es alimentado directamente desde la central. Los cuadros CGBT y CSV estarán conmutados mediante un enclavamiento mecánico para asegurar el suministro en caso de falta aguas arriba.

Para dimensionar las secciones de los cables, cumpliendo el REBT (13) y la norma UNE (14), se deben de cumplir los siguientes criterios:

- Densidad de carga permanente. Dependiendo del modo de instalación elegido y de la carga que alimente se calcula la sección para que el cable soporte la intensidad que lo recorrerá.
- Sección por cortocircuito. Esta sección debe soportar la intensidad de cortocircuito hasta que las protecciones actúen. Para ello se ha calculado mediante el método óhmico la corriente de cortocircuito hasta el CGBT, obteniéndose una corriente de cortocircuito de 21,6 kA. Luego, es necesario añadir el tramo de cada circuito con su impedancia equivalente para obtener la corriente de cortocircuito particular de cada circuito.
- Sección por caída de tensión. A diferencia de la MT donde este criterio es despreciable, en BT es necesario hallarla. Estas máximas caídas de tensión desde el inicio de la instalación hasta el extremo mas alejado de cada línea serán de 4,5% para el alumbrado y de 6,5% para la fuerza, además por exigencia del cliente, los SS.AA. de los containers no deben de tener más de un 1% de máxima caída de tensión. Para el cálculo se desprecia la caída de tensión de la componente reactiva de los conductores ya que es despreciable frente a la resistiva.

En cuanto a las protecciones, el CGBT contará con un interruptor automático de cabecera de tipo bastidor de 1250 A, mientras que el CSV y su conmutación contarán con uno de caja moldeada de 200 A de corriente nominal. Por otro lado, aguas debajo de los cuadros, cada circuito estará protegido por otro interruptor automático contra las sobreintensidades y cortocircuitos que se puedan producir y con un interruptor diferencial para los contactos directos e indirectos. Todas las protecciones se han dimensionado cumpliendo con el REBT y siempre asegurando la correcta protección del circuito.

### 5.5.2.2 Circuitos en C.C.

En cuanto a los circuitos en corriente continua, se tratan de la alimentación al cuadro de CSV en CC que parte de la central hasta el cuadro de distribución en 125 Vcc situado en el edificio de control y de la alimentación a la UPS/rectificadora desde el cuadro de distribución en 125 Vcc. Las secciones de los conductores se han calculado de manera análoga a los cables de corriente alterna. La parte del CSV alimentada en CC contará con un interruptor automático en la central de 50 A, mientras que la unidad UPS/rectificadora tendrá en su cuadro un magnetotérmico de 25 A.

Los cálculos se muestran en el capítulo sexto.

Todos los cables de baja tensión serán del tipo:

***RZ1-K (As) 0,6/1kV n x XXX mm<sup>2</sup> Cu***

Donde:

- Aislamiento: R, polietileno reticulado.
- Cubierta exterior: Z1, a base de poliolefinas.
- La letra K, indicativa de que el conductor es circular y compacto.
- Tensión asignada del cable, se expresará en kV y designará los valores de U0 y de U, en la forma U0/U.

Indicaciones relativas al conductor:

- La letra n indica el número de conductores del cable.
- La letra x indica que no tiene conductor de tierra, en caso de que lo tuviera se indicaría con la letra G.
- XXX. La sección nominal del conductor, expresada en mm<sup>2</sup>.
- Las letras Cu, indicativas de que el conductor es de Cobre.

### 5.5.3 Circuitos de control y comunicaciones

Tal y como se ha explicado en el capítulo cuarto, se distinguen varios niveles según el flujo de información.

#### 5.5.3.1 Nivel de contenedores

Este nivel es el relativo a la comunicación entre contenedores que se corresponde con el nivel más bajo dentro de las comunicaciones del sistema en estudio. Dentro de este nivel se distinguen los contenedores EH y PH, aunque ambos comparten el mismo sistema de comunicación en caso de emergencia y se detallará a continuación.

##### 5.5.3.1.1 Contenedor Energy House (EH)

El sistema de control del contenedor EH está equipado con un PLC esclavo, que devuelve la información que le pide un PLC máster y se la replica también al sistema BMS. Además, se encarga de tomar las medidas necesarias para el seguimiento y control del estado del contenedor. En concreto:

- Se comunica con el PLC máster vía PROFINET, intercambiando órdenes de cierre y apertura de los

contactores de las baterías.

- Realiza un seguimiento de los siguientes datos del container:
  - Temperatura ambiente del interior del container.
  - Estado de los interruptores auxiliares, Abierto/Cerrado.
  - Estado de los equipos de refrigeración.
- Se comunica vía MODBUS TCP/IP con cada sistema BMS y toman medidas eléctricas de:
  - Potencia activa.
  - Tensión y corriente de las baterías.
  - Máxima y mínima tensión y temperatura de las celdas que conforman las baterías.
  - Estado de la carga de las baterías, SoC en sus siglas en inglés (State of Charge).

Por otro lado, cada container EH contará con un sistema de emergencia que se activará cuando alguna de las siguientes premisas se cumpla:

- Se rompa el cristal de emergencia situado al lado de la puerta de entrada al contenedor, es decir se encuentra fuera del mismo.
- Se pulsa el botón de parada instalado en el frontal del cuadro auxiliar situado en el interior del contenedor.
- Se activa el sistema de protección contra incendios.
- Se activa el sistema de detección de gases.
- Aparece la señal de alarma en el PLC esclavo que también hace función de vigilancia (watchdog).
- Si se activa la señal de emergencia en el contenedor PH asociado o en el sistema BESS completo, todo lo que exista aguas abajo del mismo activará los equipos de emergencia.

Una vez se haya activado el sistema de emergencia debido a algunas de estas señales, el sistema actuará de la siguiente manera:

1. Se abren los interruptores automáticos de los cuadros auxiliares, desconectando el conjunto de las baterías de cada contenedor del sistema.
2. Se abren los contactores que conectan los racks que forman las baterías.
3. Al ser desactivadas las baterías, se informa al contenedor PH de fallo en el sistema con lo que activa su sistema de emergencia.

#### 5.5.3.1.2 Contenedor Power House (PH)

Al igual que en el caso anterior, cada contenedor PH contará con un PLC esclavo, que además de responder frente al PLC máster y tomar medidas, replica esas órdenes al sistema PCS necesarias para el seguimiento y control del estado del contenedor. En particular:

- Se comunica con el PLC máster vía PROFINET, intercambiando consignas de potencia para la parametrización del sistema de baterías.
- Realiza un seguimiento de los siguientes datos del container:
  - Temperatura ambiente del interior del container.
  - Estado de los interruptores auxiliares, Abierto/Cerrado.
  - Estado de los interruptores de media tensión que conectan el container con las celdas de MT.
  - Temperatura del transformador para comprobar que se encuentra entre los límites admitidos por el equipo.
- A partir de los transformadores de intensidad y tensión instalados en los terminales de MT, se tomarán las siguientes medidas:

- Potencia activa y reactiva.
- Tensión y corriente.
- Frecuencia.
- Se comunica vía CAN-BUS con los PCS de cada container.

Por su parte, el sistema de emergencia funciona igual que para los contenedores EH, con la diferencia de que en vez de desconectar las baterías, no existen en este tipo de contenedor, abre los interruptores de MT para desconectar el contenedor de la celda de MT correspondiente, aislando así la emergencia del resto del sistema. También, activa la emergencia en el contenedor EH aguas abajo del mismo.

### 5.5.3.2 Nivel del sistema BESS

En este nivel se encuentran los circuitos de comunicación y control del sistema BESS con el conjunto de las baterías. Estando centralizado en el PLC que la compañía dispone en el edificio de control y que tiene su interfaz gráfica en el SCADA situado en la misma sala.

De esta manera, la comunicación se efectúa a partir de los datos que recoge el PLC master de los containers que mediante un cable Ethernet se conecta al PLC de la compañía generadora. A su vez, este PLC de compañía monitoriza todas las señales que recibe y está conectado a:

- SCADA local situado en el edificio de control donde se mostrarán todas las señales del sistema BESS así como sus variables de estado. Entre las variables que supervisará se encontrarán el SoC de las baterías, la temperatura de las mismas, el sistema contraincendios y el estado de todos los relés del sistema entre otras. En la Figura 20 se observa una imagen del SCADA instalado en el edificio de control, donde se controla el conjunto del sistema BESS. A su vez, este SCADA se comunica con diferentes equipos como:
  - Osciloscopios de los transformadores auxiliares que conectan el sistema BESS con la central térmica, para controlar el estado de los mismos.
  - SCADA situado en la central térmica: El SCADA local hace de puente entre el SCADA de la central y el sistema BESS a la hora de dar órdenes al sistema de baterías. Es decir, la central térmica se sirve de la infraestructura creada para el sistema BESS para poder dar directamente las distintas órdenes necesarias al EMS según las necesidades de la compañía evitando estar en el edificio de control.
  - Protecciones de las celdas de media tensión del edificio de control para obtener visualmente información del estado de las mismas.

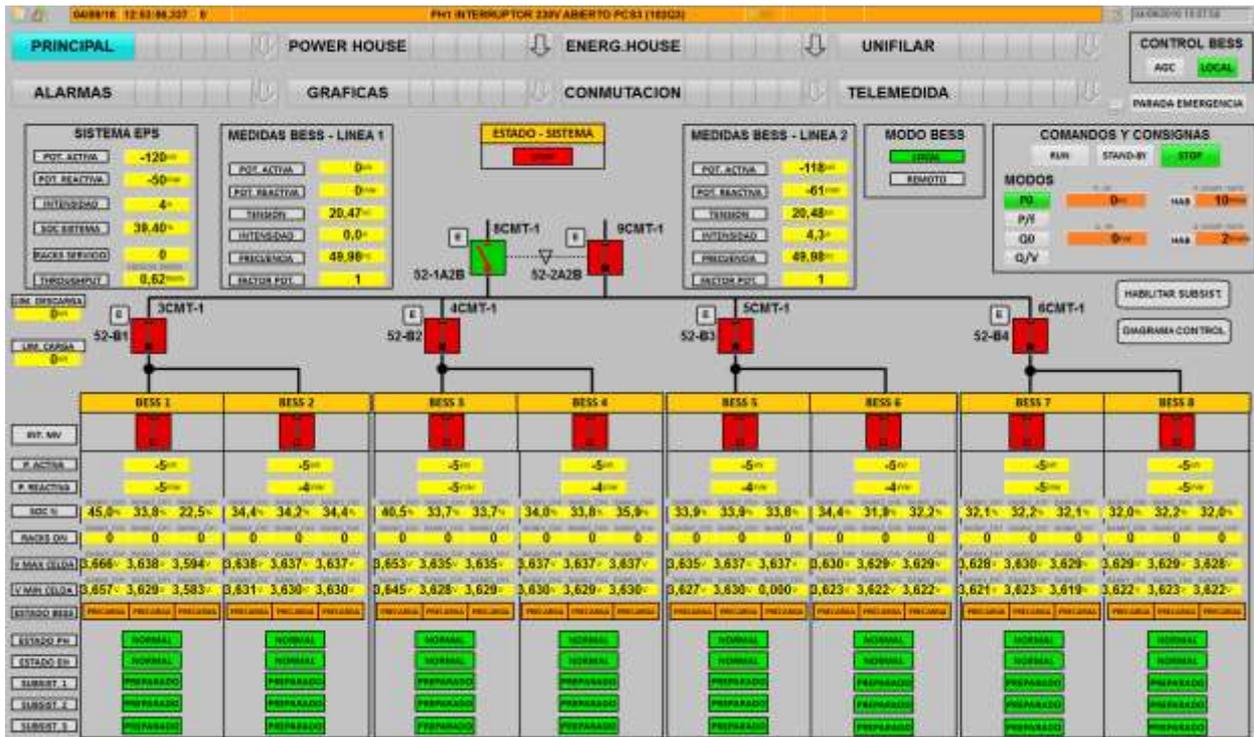


Figura 20. SCADA del conjunto del sistema BESS

En las Figura 21 se muestra el detalle del SCADA para el contenedor tipo PH mientras que en la Figura 22 se observa el correspondiente detalle para el container tipo EH. Estas figuras se corresponden con el interfaz instalado en la instalación real.

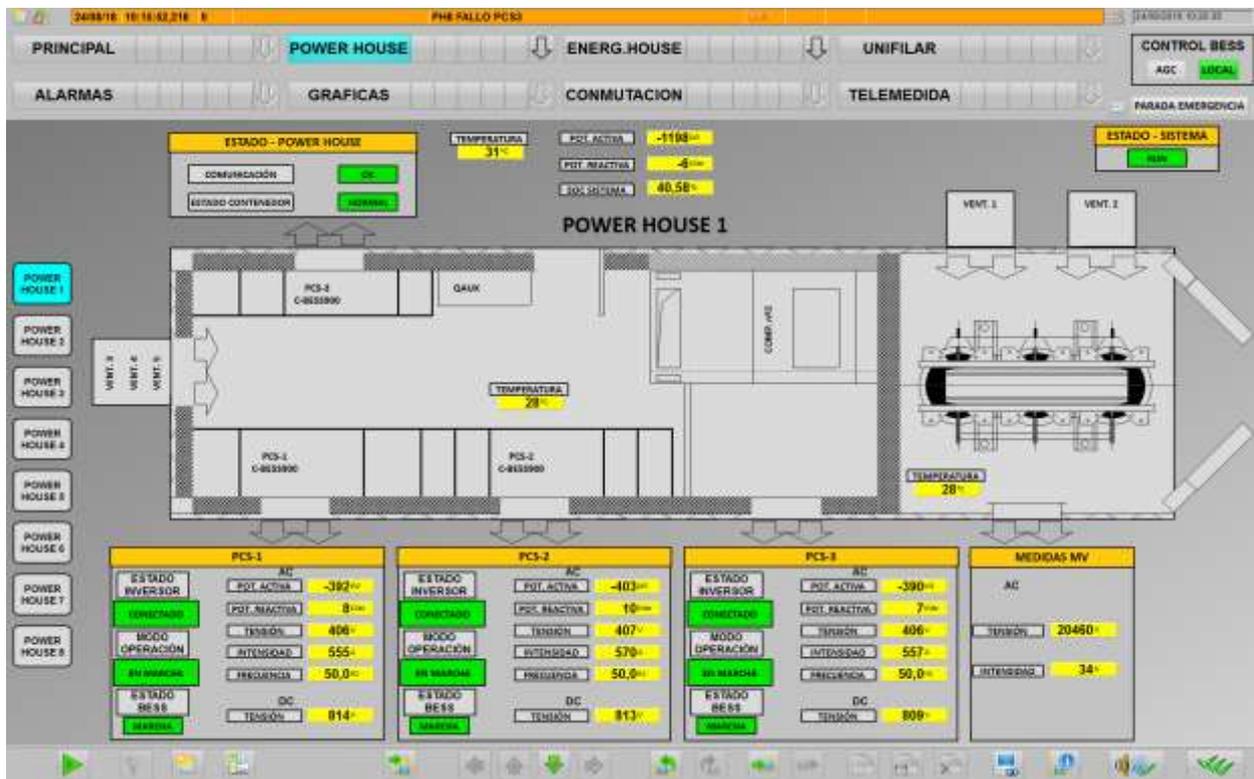


Figura 21. Detalle del SCADA real para contenedor tipo PH

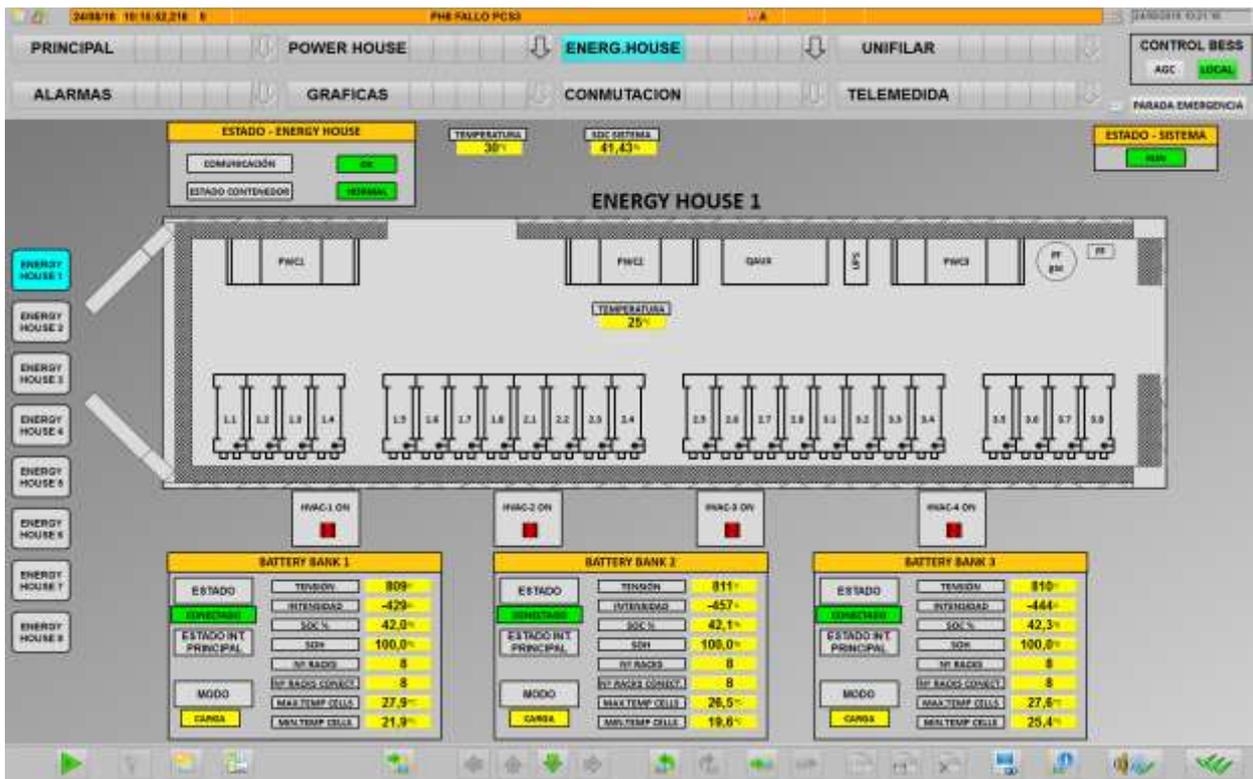


Figura 22. Detalle del SCADA real para contenedor tipo EH

- Armario de medida. El PLC de compañía mide toda la energía que inyectan las baterías a la central para su futura facturación.

### 5.5.3.3 Nivel de la central térmica

Este último nivel se corresponde con las comunicaciones y control de las variables entre el sistema BESS y la central térmica. Debido a que existe una distancia muy grande entre ambas (400 metros), al gran número de señales existentes y para evitar interferencias electromagnéticas se hace uso de cables de fibra óptica para las comunicaciones. Así todas las comunicaciones referentes al BESS se concentran en un mismo armario dentro de la central térmica, el cual conecta:

- Armario de protecciones. Situado en la central térmica, este armario concentra todas las protecciones de la central térmica y de los relés de los distintos transformadores. Esta información será visible en un microSCADA preparado exclusivamente para ello.
- Armario concentrador de comunicaciones. Como su propio nombre indica, este armario concentra todas las comunicaciones de la central térmica por lo que debe de estar conectado también al armario de comunicaciones del sistema BESS.
- SCADA remoto. Localizado en la sala de control de la central térmica, desde él se controla todo el sistema BESS además de la propia central térmica. Se envían órdenes al sistema EMS utilizando para ello la infraestructura de comunicaciones instalada como un puente en el cual el SCADA de la sala de control del sistema BESS hace de pasarela entre el controlador remoto y el sistema de baterías.

## 5.6 Diseño Canalizaciones

Aunque el alcance de este proyecto no se centra en la obra civil necesaria para la instalación del sistema BESS,

sí se ha creído conveniente puntualizar el diseño de las canalizaciones debido a la cantidad de cables que se instalarán en el mismo.

Desde la central, se alimenta a las celdas de MT, el trafo de SS.AA y las cargas en continua procedentes de la central, además de la comunicación y control con la central. Todo este cable será instalado en una canalización enterrada bajo tubo y los cables se instalarán en función de su nivel de tensión y a una profundidad máxima de 1,25 m. La instalación por tanto será: cables de comunicación, control y BT en las capas de tubos superiores y los cables de MT en la capa inferior de la canalización. En la Figura 23 se muestra un esquema de como sería esta canalización.

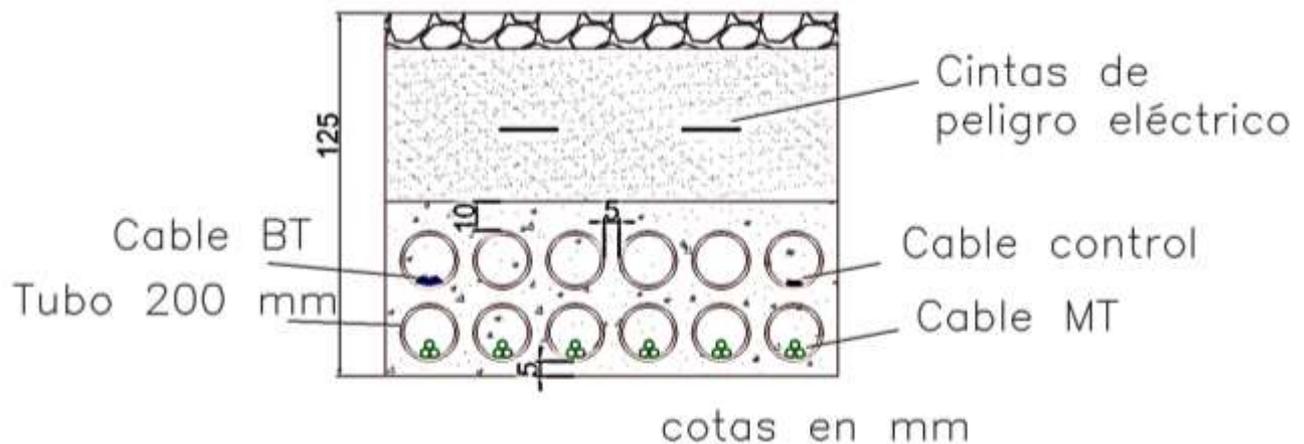


Figura 23. Diseño de la canalización

Luego, desde el edificio parte una canalización suficientemente grande como para llevar todo el cableado de potencia de MT y BT de los 16 contenedores y toda la comunicación y control del sistema, además del cableado de fuerza y alumbrado del parque de baterías. El esquema es similar al de la figura anterior.

Luego, para alimentar a cada contenedor se contempla la instalación de una arqueta delante de cada par EH-PH de manera que conforme avanza la canalización y va alimentando a más containers, las arquetas y canalizaciones pueden disminuir el número de tubos.

Por deseo del cliente, se desea un factor de llenado del 30% en los tubos, es decir que la suma del área transversal de los conductores que pasan por el tubo no puede ser mayor que el área transversal de dicho tubo por lo que se dificulta aún más el trazado de los mismos.

El diseño de las canalizaciones afecta al cálculo de la sección de los cables debido a que los cables en funcionamiento desprenden calor y se calientan entre sí, pudiendo alcanzar temperaturas más grandes de las permitidas por su aislamiento. Este aspecto se ha tenido en cuenta a la hora de calcular las secciones de los conductores siguiendo la normativa vigente.

## 5.7 Diseño del inversor

La carga que debe ser alimentada por el inversor es de 3,15 kW de acuerdo al balance de potencias realizado que se puede observar en el siguiente capítulo. Se instalará un equipo formado por varios inversores que en su totalidad supondrán una potencia de 5,4 kW, sobredimensionándose con vistas a una futura ampliación del sistema BESS. Por lo tanto, el equipo contará con un bypass estático que tiene funciones de monitorización tanto local como remota para su control desde el SCADA del BESS. El equipo será alimentado en CC a 125 V y tendrá una tensión de salida de 230 V en CA y 50 Hz.

## 5.8 Diseño del sistema de protección contra incendios

De acuerdo al reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (7), hay que categorizar la instalación según sus condiciones y los elementos que se encuentren dentro de la misma. Se distinguen dos sectores de incendio en la instalación del sistema BESS.

Los distintos materiales constructivos deben cumplir el Reglamento Europeo de productos de construcción (15) mediante la cual se clasifican los distintos elementos constructivos en función de su resistencia al fuego. En la Figura 24 se puede observar la nueva clasificación según el citado CPR (16).



Figura 24. Clasificación elementos constructivos según el CPR

### 5.8.1 PCI del parque de baterías

Los contenedores están equipados con la aparatada eléctrica necesaria para la acumulación, distribución y conversión de la energía. Además, las paredes que comprenden el contenedor se han realizado con panel metálico tipo sandwich con lana de roca, de clase de reacción al fuego A2, s1-d0. Se decide que cada contenedor comprenderá un sector de incendio único.

Según la normativa (7), los edificios tipo C son aquéllos en los que el establecimiento industrial ocupa totalmente un edificio, o varios, en su caso, que están a una distancia mayor de tres metros del edificio más próximo de otros establecimientos. Dicha distancia deberá estar libre de mercancías combustibles o elementos intermedios susceptibles de propagar el incendio. Por lo tanto, según la norma vigente, cada contenedor se puede catalogar como edificio tipo C.

Aplicando la normativa tal y como se especifica en el capítulo sexto, cada contenedor PH tiene un riesgo intrínseco BAJO 2 y cada contenedor EH presenta un riesgo MEDIO 3.

Los materiales empleados en la construcción, así como los revestimientos y acabados superficiales deben cumplir con las exigencias de comportamiento frente al fuego exigibles por la norma:

- Productos utilizados como revestimientos o acabado superficial:
  - En suelos: CFL-s1 o más favorable.
  - En paredes y techos: C-s3d0 o más favorable.
- Productos utilizados como revestimientos o acabado superficial, para un sector de incendios clasificado como de riesgo intrínseco bajo y de tipo C. Será suficiente con la clasificación Ds3d0.

- Estabilidad al fuego de los elementos constructivos y portantes. Las exigencias de comportamiento ante el fuego de un elemento de este tipo se define por el tiempo en minutos, durante el que dicho elemento debe mantener la estabilidad mecánica en el ensayo normalizado conforme a la normativa vigente. Según el reglamento, para un edificio tipo C y riesgo BAJO 2, con una estabilidad R30 es suficiente, mientras que para un edificio tipo C y riesgo MEDIO 3 la norma prevee una estabilidad R60.
- Puertas. La norma admite que su estabilidad frente al fuego sea la mitad que la de los elementos portantes, por lo tanto deben tener como mínimo una estabilidad R30.
- Evacuación del edificio en caso de fuego, se prevé que puedan trabajar a la vez dos personas dentro de los contenedores cuando sea necesario. Los contenedores cumplen con la normativa en lo relativo a este aspecto.
- Extintores. Debido a las características de los equipos en el interior del edificio, el reglamento contempla la instalación de extintores de dióxido de carbono con una eficacia mínima 89B.

### 5.8.2 PCI del edificio de control

El edificio, al albergar sala de celdas y una oficina y estar a una distancia superior a tres metros de otros establecimientos se puede categorizar como edificio tipo C. Aplicando la normativa se obtiene que el edificio eléctrico tiene un riesgo intrínseco BAJO 2. En cuanto a los materiales empleados en la construcción le aplican los puntos citados en la protección contra incendios de los contenedores.

## 5.9 Diseño de la iluminación

Tal y como se ha comentado previamente, los niveles de iluminación se distribuirán de acuerdo con lo requerido en la reglamentación vigente (8).

### 5.9.1 Parque intemperie

Los valores mínimos para una correcta iluminación del parque de baterías son:

- Accesos y viales..... 30 lux.
- Almacenamientos de equipos..... 30 – 50 lux.

El área a iluminar comprende una zona de unos 3.600 m<sup>2</sup>.

En el alumbrado exterior, se tienen dos tipos de luminarias, que serán farolas para iluminar los viales de circulación y proyectores instalados en los containers iluminando el acceso de los mismos. Por lo tanto, en el edificio de control se instalarán proyectores para iluminar el vial que existe justo enfrente y báculos para la iluminación de los accesos al edificio. Las farolas serán de 27 W LED y los proyectores contarán con una potencia de 72 W también en LED, estos últimos serán instalados en los extremos de los containers a una altura de 4 metros sobre el suelo.

El diseño del mismo se ha realizado con un software específico para ello, DIALUX, en el cual se han obtenido los resultados mostrados en la Figura 25. En ella se pueden ver los distintos pares de contenedores EH-PH y el edificio de control, así como las luminarias que serán instaladas.

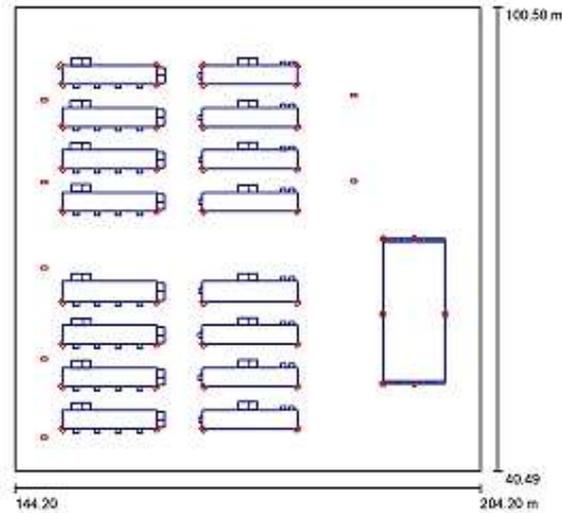


Figura 25. Instalación de luminarias exteriores

En la Figura 26 se observan las isólinas alcanzadas con la instalación propuesta. Todo el parque de baterías contará con una uniformidad de 30 lux, mientras que las distintas zonas de paso rondarán los 60-90 lux de nivel de iluminación.

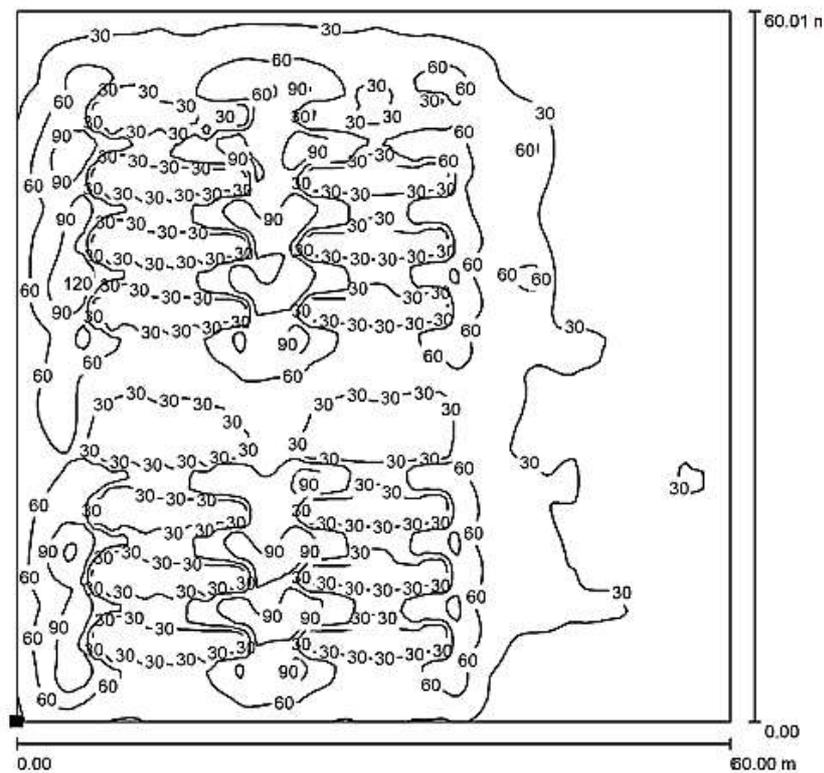


Figura 26. Isólinas de iluminación exterior

Por último, y para que sea más gráfico, en la Figura 27 se muestra una imagen simulada del parque, donde se puede observar claramente que existe una correcta iluminación exterior.

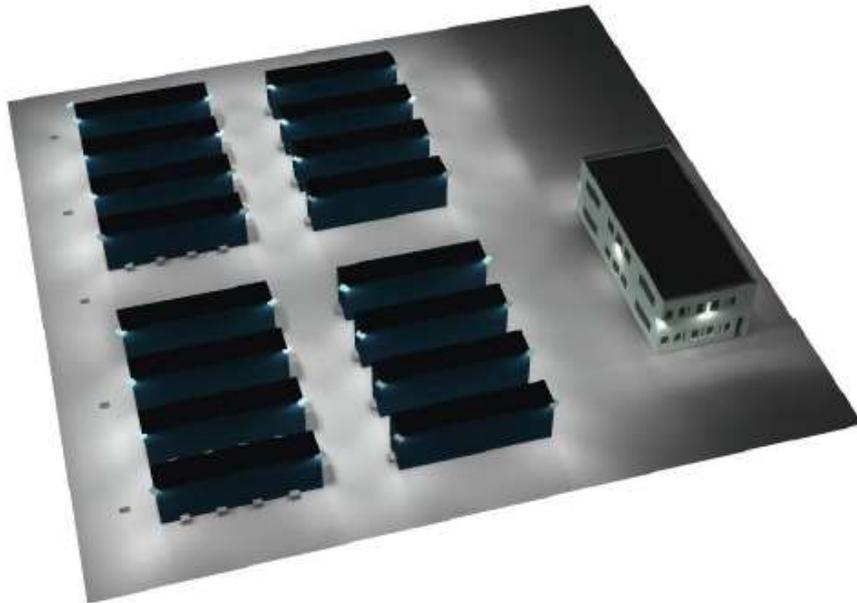


Figura 27. Imagen simulada del alumbrado exterior

En cuanto a la instalación del mismo, se tienen tres circuitos destinados para el alumbrado, uno de ellos irá apoyado a lo largo del edificio en instalación al aire, mientras que los otros dos circuitos irán enterrados bajo tubo alternando pares de contenedores EH-PH.

### 5.9.2 Edificio interior

El edificio cuenta con alrededor de  $120 \text{ m}^2$  y se divide en dos habitáculos, el más grande es la sala eléctrica donde están instalados las distintas celdas de media tensión, el trafo de SS.AA. y los distintos cuadros de baja tensión, la otra sala es la sala de control y está destinada al sistema SCADA y en la cual existen armarios de control. Luego, teniendo en cuenta esto, los valores deseados para la iluminación son:

- Salas eléctricas..... 300 lux.
- Oficinas..... 500 - 800 lux.

Se instalarán luminarias de tipo fluorescente para la iluminación de ambos habitáculos, suspendidas a un metro de altura. También, de acuerdo con la normativa vigente, existirá un alumbrado de emergencia que en caso necesario, sea capaz de señalar la ruta de evacuación e iluminar los cuadros eléctricos.

Al igual que con la iluminación exterior, se ha realizado una simulación del alumbrado mediante el software DIALUX, siendo las disposiciones de las luminarias las indicadas en la Figura 28.

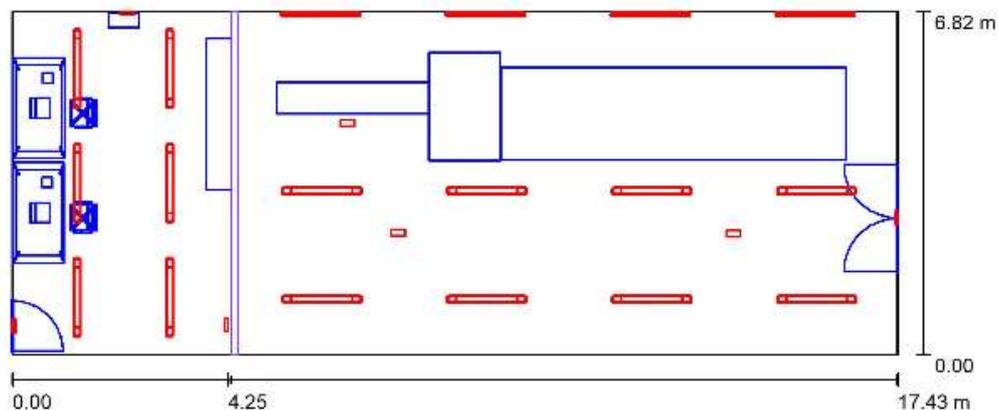


Figura 28. Disposición de las luminarias en el interior del edificio

La distribución de las isólinas viene representada en la figura 29.

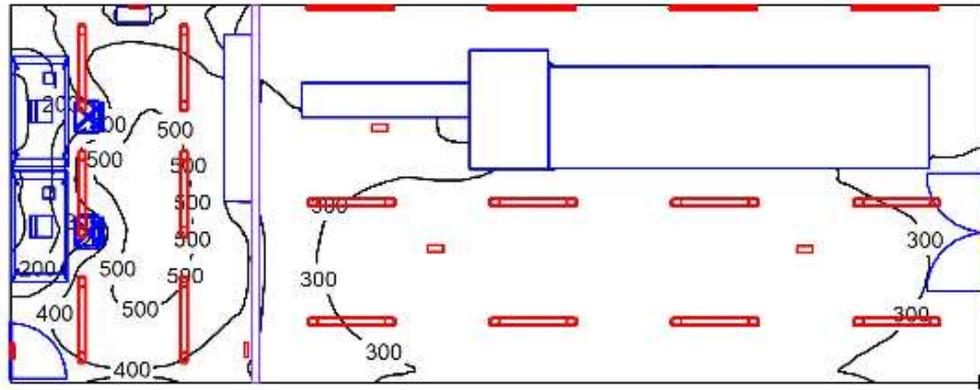


Figura 29. Isolneas en el interior del edificio

De manera análoga a la iluminación del parque, en la Figura 30 se muestra la imagen simulada que facilita el software y en ella se puede observar la correcta disposición de los equipos en aras de conseguir una buena iluminación acorde con los trabajos que se realizarán en su interior.



Figura 30. Imagen simulada del alumbrado del edificio de control

## 5.10 Diseño de la climatización del edificio de control

Como se ha mencionado anteriormente, el edificio cuenta con dos zonas claramente diferenciadas, la sala de control y la sala de celdas, siendo la más grande la de celdas con unas dimensiones de  $90 m^2$  y  $29 m^2$  respectivamente. Para el cálculo del clima, es necesario estimar las horas de funcionamiento, ocupación y niveles de ventilación deseados en cada sala. Así, en la sala de celdas se estima que existirá una persona de vez en cuando y que la sala funcionará durante las 24 horas del día, del mismo modo, la sala de control tendrá una ocupación de dos personas y un funcionamiento continuo durante el día.

Teniendo en cuenta la orientación y localización del edificio, para tener la temperatura media en las distintas estaciones del año y aplicando el método desarrollado por ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers) junto con el RITE (9) se tiene:

- Sala de celdas. Dos máquinas de ventilación con control de condensación de 8.000 frigorías/h para que exista una redundancia en el clima por si falla alguna de las máquinas. Una temperatura de consigna máxima de  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una renovación de aire al día. También se contempla la instalación de un ventilador y una rejilla en la puerta para las renovaciones del aire.

- Sala de control. Dentro de esta sala no se prevé ninguna rejilla, sino que se instalará una máquina de aire con control de condensación de 4.000 frigorías/h con dos temperaturas de consigna, 24 °C para frío y 21 °C para caliente.

Un esquema de la instalación de climatización viene representado en la Figura 31.

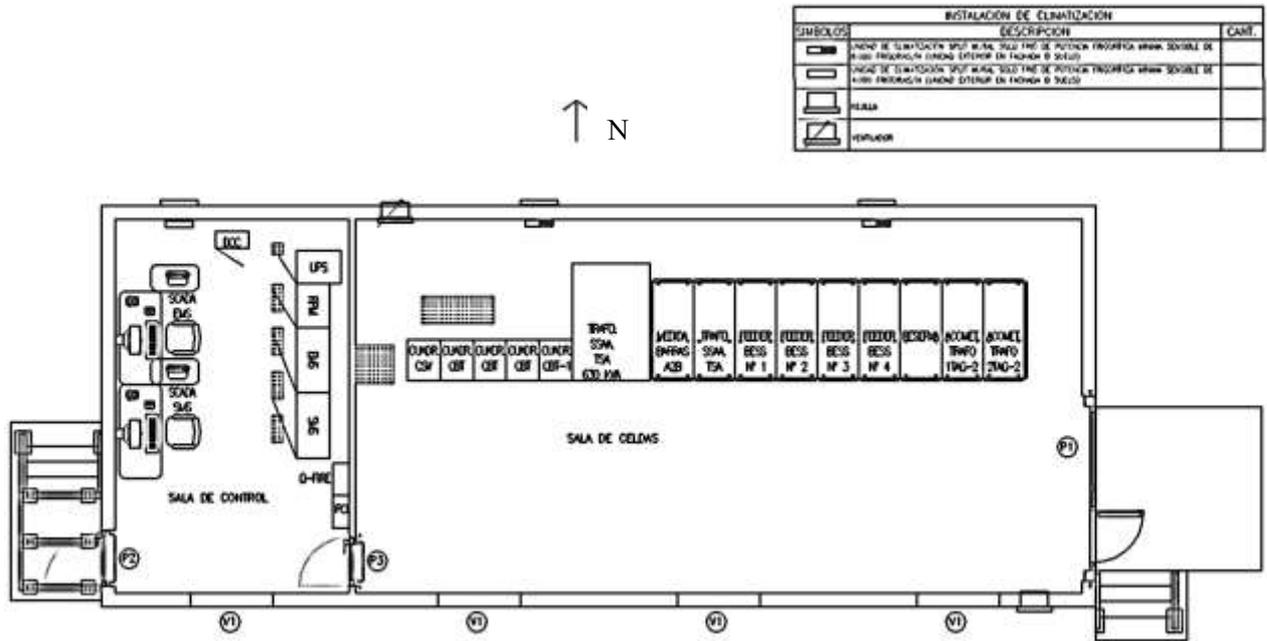


Figura 31. Instalación de la climatización en el edificio de control

## 5.11 Diseño del pararrayos

El pararrayos debe proteger la instalación completa, lo que supone un área circular de radio 47,32 metros medido desde el edificio de control tal y como se observa en la Figura 32. Con esta medida y aplicando el CTE-SUA8, se obtiene que la eficiencia de la protección deberá ser de clase IV por lo que se opta por un pararrayos tipo PDC de la citada clase de protección.

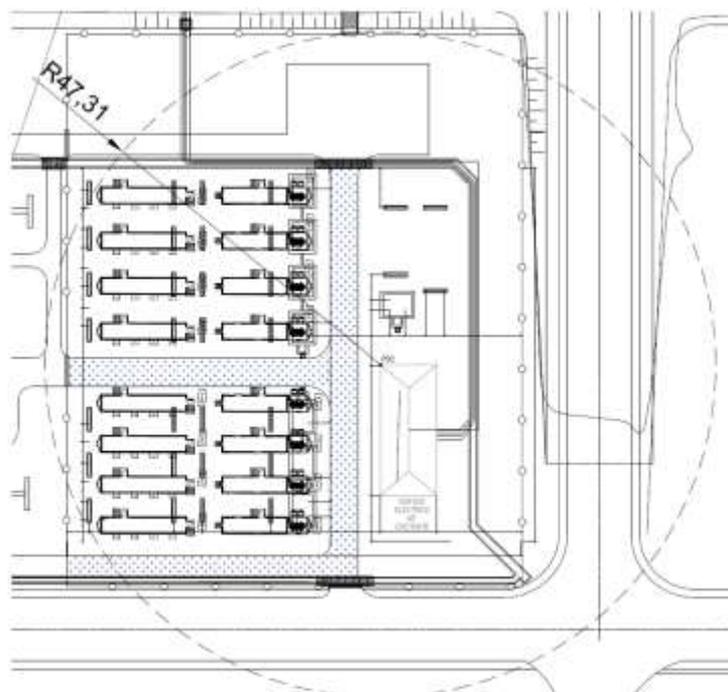


Figura 32. Área de influencia del pararrayos



# 6 JUSTIFICACIÓN Y CÁLCULOS DEL CONJUNTO

## 6.1 Transformadores

### 6.1.1 Transformadores auxiliares

Los transformadores auxiliares antiguos eran también de tres devanados pero con una potencia de 32/32/12,6 MVA, con una tensión de 20/6,3/5 kV. Por lo tanto para que el sistema BESS, de 20 MW de potencia, este correctamente integrado en el esquema de la central térmica será necesario reemplazar dichos transformadores por otros dos con una capacidad de 52/32/20 MVA y una tensión asignada a cada barra de 20/6,3/20 kV.

### 6.1.2 Transformador de SS.AA.

El transformador de SS.AA alimenta a las cargas de fuerza y alumbrado tanto del parque de baterías como del edificio de control además de los servicios auxiliares de las baterías de 400 V. Con ánimo de calcular la potencia que debe ser capaz de transformar, se ha realizado un balance de potencias teniendo en cuenta la tensión y la potencia instalada de cada carga obteniéndose la intensidad nominal y la potencia aparente consumida. A partir de esta potencia instalada se han aplicado diversos factores correctores como:

- Coeficiente de carga: Se trata de un coeficiente que indica si la carga es de reserva o es permanente. Es decir, si la carga es de reserva indica que ésta entrará a funcionar porque existe algún problema con alguna carga permanente. Por lo tanto se trata de un coeficiente binario en el cual si la carga es permanente su valor será la unidad y si es de reserva su valor será nulo.
- Rendimiento: Indica las pérdidas energéticas que supone su funcionamiento. Para este caso al tratarse de iluminación basada en tecnología LED (Light Emitting Diode) será igual a la unidad.
- Factor de simultaneidad: Se trata de un factor que se aplica a grupos de carga teniendo en cuenta que no todos los receptores funcionan al mismo tiempo.

Luego, la potencia consumida de cada carga es:

$$P_{consumida} = P_{instalada} * f_{carga} * k_{simultaneidad} * \eta [kW]$$

La potencia reactiva de cada carga se calcula mediante el factor de potencia que facilita el fabricante de cada equipo mientras que la potencia aparente de cada carga es la potencia consumida entre el factor de potencia.

$$Q = P_{consumida} * \tan(\cos^{-1} \varphi) [kvar]$$

$$S = \frac{P_{consumida}}{\cos \varphi} [kVA]$$

Con estos datos se ha calculado la potencia aparente total como la suma de las potencias aparentes de cada carga, obteniéndose que el transformador debe poder transformar una potencia como mínimo de 527 kVA. Por motivos comerciales se decide elegir un transformador de 630 kVA de potencia aparente. En la Tabla 4 se muestra el balance de potencias realizado, en la tabla se describen las cargas en función de sus características mediante el uso de siglas, el significado de las mismas se indica a continuación.

- Tipo de carga:
  - CF. Indica que la carga es común, como la iluminación o la fuerza.
  - FC. Se usa para cargas que cuentan con elementos de control.
- Tipo de tensión:
  - TN. Tensión trifásica con neutro.
  - S. Tensión monofásica.

- Tipo de alimentación:
  - NG. Alimentación normal.
  - ES. Alimentación esencial, se usa para los equipos que son críticos en la instalación, como la climatización de los contenedores para mantener la temperatura de las baterías dentro de los márgenes establecidos.

Descripción	Calibre protección (A)	Tipo carga	Tensión Nominal (V)	Tipo tensión	Tipo alimentación	Potencia instalada (kW)	Coefficiente de carga	Rendimiento	Factor de simultaneidad	Potencia consumida (kW)	Factor de potencia	Intensidad nominal (A)	Potencia reactiva (kvar)	Potencia aparente (kVA)
SS.AA. CONTAINER POWERHOUSE Nº1	80	CF	400	TN	NG	45,03	1	1	1,0	45,03	0,90	72,2	21,8	50
SS.AA. CONTAINER POWERHOUSE Nº2	80	CF	400	TN	NG	45,03	1	1	1,0	45,03	0,90	72,2	21,8	50
SS.AA. CONTAINER POWERHOUSE Nº3	80	CF	400	TN	NG	45,03	1	1	1,0	45,03	0,90	72,2	21,8	50
SS.AA. CONTAINER POWERHOUSE Nº4	80	CF	400	TN	NG	45,03	1	1	1,0	45,03	0,90	72,2	21,8	50
SS.AA. CONTAINER POWERHOUSE Nº5	80	CF	400	TN	NG	45,03	1	1	1,0	45,03	0,90	72,2	21,8	50
SS.AA. CONTAINER POWERHOUSE Nº6	80	CF	400	TN	NG	45,03	1	1	1,0	45,03	0,90	72,2	21,8	50
SS.AA. CONTAINER POWERHOUSE Nº7	80	CF	400	TN	NG	45,03	1	1	1,0	45,03	0,90	72,2	21,8	50
SS.AA. CONTAINER POWERHOUSE Nº8	80	CF	400	TN	NG	45,03	1	1	1,0	45,03	0,90	72,2	21,8	50
RESERVA CONTAINERS-1	80	CF	400	TN	NG	45,03	0	1	1,0	0,00	0,90	72,2	0	0
RESERVA CONTAINERS-2	80	CF	400	TN	NG	45,03	0	1	1,0	0,00	0,90	72,2	0	0
CLIMATIZACIÓN AUXILIAR ENERGYHOUSE Nº1	32	CF	400	TN	ES	14,00	1	1	0,3	4,20	0,90	22,5	2,03	4,67
CLIMATIZACIÓN AUXILIAR ENERGYHOUSE Nº2	32	CF	400	TN	ES	14,00	1	1	0,3	4,20	0,90	22,5	2,03	4,67
CLIMATIZACIÓN AUXILIAR ENERGYHOUSE Nº3	32	CF	400	TN	ES	14,00	1	1	0,3	4,20	0,90	22,5	2,03	4,67
CLIMATIZACIÓN AUXILIAR ENERGYHOUSE Nº4	32	CF	400	TN	ES	14,00	1	1	0,3	4,20	0,90	22,5	2,03	4,67
CLIMATIZACIÓN AUXILIAR ENERGYHOUSE Nº5	32	CF	400	TN	ES	14,00	1	1	0,3	4,20	0,90	22,5	2,03	4,67
CLIMATIZACIÓN AUXILIAR ENERGYHOUSE Nº6	32	CF	400	TN	ES	14,00	1	1	0,3	4,20	0,90	22,5	2,03	4,67
CLIMATIZACIÓN AUXILIAR ENERGYHOUSE Nº7	32	CF	400	TN	ES	14,00	1	1	0,3	4,20	0,90	22,5	2,03	4,67
CLIMATIZACIÓN AUXILIAR ENERGYHOUSE Nº8	32	CF	400	TN	ES	14,00	1	1	0,3	4,20	0,90	22,5	2,03	4,67
RESERVA AUXILIAR ENERGYHOUSE Nº1	32	CF	400	TN	ES	14,00	0	1	0,3	0,00	0,90	22,5	0	0
RESERVA AUXILIAR ENERGYHOUSE Nº2	32	CF	400	TN	ES	14,00	0	1	0,3	0,00	0,90	22,5	0	0
TOMA DE CORRIENTE BESS-1	63	CF	400	TN	NG	33,00	1	1	0,5	16,50	0,8	59,5	12,4	20,6
TOMA DE CORRIENTE BESS-2	63	CF	400	TN	NG	33,00	1	1	0,5	16,50	0,8	59,5	12,4	20,6
TOMA DE CORRIENTE TRIFÁSICA EDIFICIO	63	CF	400	TN	NG	33,00	1	1	0,6	19,80	0,8	59,5	14,9	24,8
RESERVA TRIFÁSICA	63	CF	400	TN	NG	33,00	0	1	0,5	0,00	0,8	59,5	0	0
RESERVA TRIFÁSICA	63	CF	400	TN	NG	33,00	0	1	0,5	0,00	0,8	59,5	0	0
ALUMBRADO EXTERIOR CTO. 1	10	CF	230	S	NG	1,56	1	1	1,0	1,56	0,9	7,5	0,76	1,73
ALUMBRADO EXTERIOR CTO. 2	10	CF	230	S	NG	1,62	1	1	1,0	1,62	0,9	7,8	0,78	1,8
ALUMBRADO EXTERIOR CTO. 3	10	CF	230	S	NG	1,52	1	1	1,0	1,52	0,9	7,3	0,74	1,69
ALUMBRADO EXTERIOR CTO. RESERVA	10	CF	230	S	NG	2,00	1	1	1,0	2,00	0,9	9,7	0,97	2,22
CLIMATIZACIÓN EDIFICIO CTO. 1	25	CF	230	S	NG	3,82	1	1	0,5	1,91	0,85	19,5	1,18	2,25
CLIMATIZACIÓN EDIFICIO CTO. 2	25	CF	230	S	NG	3,82	1	1	0,5	1,91	0,85	19,5	1,18	2,25
CLIMATIZACIÓN EDIFICIO CTO. 3	25	CF	230	S	NG	3,82	1	1	0,5	1,91	0,85	19,5	1,18	2,25
CLIMATIZACIÓN EDIFICIO CTO. 4	10	CF	230	S	NG	1,56	1	1	1,0	1,56	0,85	8,0	0,97	1,84
ALUMBRADO INTERIOR CTO. 1	10	CF	230	S	NG	0,93	1	1	1,0	0,93	0,95	4,3	0,31	0,98
ALUMBRADO INTERIOR CTO. 2	10	CF	230	S	NG	0,81	1	1	1,0	0,81	0,95	3,7	0,27	0,85
ALUMBRADO INTERIOR CTO. 3	10	CF	230	S	NG	0,23	1	1	1,0	0,23	0,95	1,1	0,08	0,24
ALUMBRADO INTERIOR EMERGENCIA	10	CF	230	S	NG	0,13	1	1	1,0	0,13	0,95	0,6	0,04	0,14
TOMAS DE CORRIENTE MONO EDIFICIO CTO.1	16	CF	230	S	NG	2,00	1	1	0,2	0,30	0,85	10,2	0,19	0,35
TOMAS DE CORRIENTE MONO EDIFICIO CTO.2	16	CF	230	S	NG	2,00	1	1	0,2	0,30	0,85	10,2	0,19	0,35
TOMAS DE CORRIENTE MONO EDIFICIO CTO.3	16	CF	230	S	NG	2,00	1	1	0,2	0,30	0,85	10,2	0,19	0,35
ALIMENTACIÓN UPS	16	CF	230	S	NG	4,50	1	1	0,4	1,80	0,85	23,0	1,12	2,12
RESERVA MONOFÁSICA	25	CF	230	S	NG	7,50	0	1	1,0	0,00	0,85	38,4	0	0
RESERVA MONOFÁSICA	10	CF	230	S	NG	3,00	0	1	1,0	0,00	0,85	15,3	0	0
RESERVA MONOFÁSICA	10	CF	230	S	NG	3,00	0	1	1,0	0,00	0,85	15,3	0	0
FUERZA CELDAS MT	25	CF	230	S	NG	5,75	0,2	1	0,5	0,58	0,85	29,4	0,36	0,68
FUERZA ARMARIO TELEMEDIDA RPM	10	FC	230	S	NG	2,30	0,2	1	0,3	0,14	0,85	11,8	0,09	0,16
FUERZA ARMARIO CONTROL EMS	10	FC	230	S	NG	2,30	0,2	1	0,5	0,23	0,85	11,8	0,14	0,27
FUERZA ARMARIO CONTROL BESS	10	FC	230	S	NG	2,30	0,2	1	0,5	0,23	0,85	11,8	0,14	0,27
FUERZA ARMARIO COMUNICACIONES	10	FC	230	S	NG	2,30	0,2	1	0,3	0,14	0,85	11,8	0,09	0,16
<b>TOTAL CARGAS</b>						<b>INSTALADA</b>	<b>816,09</b>			<b>CONSUMIDA</b>	<b>466,76</b>	<b>241</b>	<b>527</b>	

Tabla 4. Balance de potencias del transformador de SS.AA.

## 6.2 Infraestructura de evacuación

### 6.2.1 Circuitos

#### 6.2.1.1 Circuitos de MT

Como se ha descrito en el capítulo anterior, existen tres circuitos de media tensión distintos. Para su dimensionado se ha hecho uso de la ITC-LAT 06 del RLAT (12), en el cual se describe las condiciones a tener en cuenta la hora de dimensionar un circuito de media tensión para líneas subterráneas con cables aislados. En el caso de la media tensión, se deben cumplir dos criterios a la hora de calcular secciones:

- Capacidad de carga permanente: Se debe determinar la intensidad máxima admisible y para ello es necesario conocer las condiciones de instalación y del terreno con el fin de aplicar los distintos factores correctores que contempla el reglamento.

La intensidad nominal se calcula mediante:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U} [A]$$

A la cual se le aplican los distintos factores correctores, obteniéndose la intensidad corregida que demanda la carga, inicialmente no se contempla cables en paralelo, por lo que  $n=1$ , pero en caso de que la intensidad corregida sea mayor de la que admite la normativa, será necesario la instalación de cables en paralelo, para lo cual es necesario calcular el número de cables en paralelo necesarios para alimentar a la carga.

$$I_{corregida} = \frac{I}{\prod_{i=1}^n f c_i * n} [A]$$

Si se da el caso en que son necesarios los cables en paralelo, hay que aplicar dos factores de corrección. Un factor de corrección debido a que al conectar varios conductores en paralelo la distribución de la intensidad por todos los conductores no es la misma, siendo este coeficiente de 0,9. Y otro factor, consecuencia del anterior, por agrupación de circuitos debido al calentamiento mutuo existente entre circuitos agrupados. Para hallar el número de cables en paralelo es necesario iterar entre la fórmula anterior y la siguiente hasta alcanzar un número de cables en paralelo que permita obtener una intensidad corregida admitida por la norma UNE 211435 (17).

$$n > \frac{I_{corregida}}{I_{max}}$$

- Cortocircuito máximo admisible. Atendiendo al apartado 6.2 de la ITC-LAT 06 del RLAT (12), la sección que soporta la máxima corriente de cortocircuito que se puede producir es:

$$s_{cc} = \frac{I_k * \sqrt{t_{cc}}}{K} [mm^2]$$

Siendo K un coeficiente que depende de la naturaleza del conductor y de las temperaturas al inicio y final de cortocircuito y  $t_{cc}$  la duración del cortocircuito en segundos hasta que las protecciones actúan. Siendo la intensidad de cortocircuito de 25 kA, la duración del cortocircuito de 1 s y teniendo como material conductor el cobre con un aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) cuya K es igual a 143, se tiene:

$$s_{cc} = \frac{25000 * \sqrt{1}}{143} = 175 mm^2$$

Siendo la sección comercial que garantiza la protección frente a cortocircuito de 185  $mm^2$ .

Aplicando la normativa se obtienen los resultados de la Tabla 5, que no son los resultados definitivos puesto

que se debe elegir la sección mayor de entre la sección por capacidad de carga permanente y la sección por cortocircuito. Las secciones definitivas una vez aplicado el criterio más restrictivo se encuentran definida en la Tabla 6.

Circuito	Potencia aparente (kVA)	Tensión (kV)	Método Instalación	Tensión aislamiento (kV)	Aislamiento	Material	Fc para Tº distinta a 40 ºC	Fc Resistividad térmica	Fc Distancia entre cables	Fc debido a instalación	Fc global	Intensidad Nominal (A)	Intensidad corregida (A)	Sección (mm2)	número cables	Sección comercial (mm2)
FEEDER PH1	2.700	20	Enterrado Bajo Tubo	18/30	XLPE	Cu	-	1	0,52	0,98	0,510	78,95	154,9202677	50	0,91	1x50
FEEDER PH2	2.700	20	Enterrado Bajo Tubo	18/30	XLPE	Cu	-	1	0,52	0,98	0,510	78,95	154,9202677	50	0,91	1x50
FEEDER PH3	2.700	20	Enterrado Bajo Tubo	18/30	XLPE	Cu	-	1	0,52	0,98	0,510	78,95	154,9202677	50	0,91	1x50
FEEDER PH4	2.700	20	Enterrado Bajo Tubo	18/30	XLPE	Cu	-	1	0,52	0,98	0,510	78,95	154,9202677	50	0,91	1x50
FEEDER PH5	2.700	20	Enterrado Bajo Tubo	18/30	XLPE	Cu	-	1	0,52	0,98	0,510	78,95	154,9202677	50	0,91	1x50
FEEDER PH6	2.700	20	Enterrado Bajo Tubo	18/30	XLPE	Cu	-	1	0,52	0,98	0,510	78,95	154,9202677	50	0,91	1x50
FEEDER PH7	2.700	20	Enterrado Bajo Tubo	18/30	XLPE	Cu	-	1	0,52	0,98	0,510	78,95	154,9202677	50	0,91	1x50
FEEDER PH8	2.700	20	Enterrado Bajo Tubo	18/30	XLPE	Cu	-	1	0,52	0,98	0,510	78,95	154,9202677	50	0,91	1x50
ACOMETIDA T1	30.000	20	Enterrado Bajo Tubo	18/30	XLPE	Cu	-	1	0,7	0,98	0,686	877,19	1278,706972	300	2,78	3x300
ACOMETIDA T2	30.000	20	Enterrado Bajo Tubo	18/30	XLPE	Cu	-	1	0,7	0,98	0,686	877,19	1278,706972	300	2,78	3x300
FEEDER TSA	630	20	Al aire	18/30	XLPE	Cu	0,84	-	-	0,66	0,554	18,42	33,22700691	25	0,21	1x25

Tabla 5. Secciones por capacidad de carga permanente en circuitos de MT

CIRCUITO	POTENCIA TRAF0 (KVA)	TENSIÓN Un (kV)	MATERIAL CONDUCTOR	MATERIAL AISLAMIENTO	CONSTRUCCIÓN	TIPO DE CABLE	SECCIÓN ELEGIDA (mm2)
FEEDER PH1	2.700	20	Cu	XLPE	Unipolar	RHZ1-OL 18/30KV	3x(1x185)
FEEDER PH2	2.700	20	Cu	XLPE	Unipolar	RHZ1-OL 18/30KV	3x(1x185)
FEEDER PH3	2.700	20	Cu	XLPE	Unipolar	RHZ1-OL 18/30KV	3x(1x185)
FEEDER PH4	2.700	20	Cu	XLPE	Unipolar	RHZ1-OL 18/30KV	3x(1x185)
FEEDER PH5	2.700	20	Cu	XLPE	Unipolar	RHZ1-OL 18/30KV	3x(1x185)
FEEDER PH6	2.700	20	Cu	XLPE	Unipolar	RHZ1-OL 18/30KV	3x(1x185)
FEEDER PH7	2.700	20	Cu	XLPE	Unipolar	RHZ1-OL 18/30KV	3x(1x185)
FEEDER PH8	2.700	20	Cu	XLPE	Unipolar	RHZ1-OL 18/30KV	3x(1x185)
ACOMETIDA T1	30.000	20	Cu	XLPE	Unipolar	RHZ1-OL 18/30KV	3x(3x300)
ACOMETIDA T2	30.000	20	Cu	XLPE	Unipolar	RHZ1-OL 18/30KV	3x(3x300)
FEEDER TSA	630	20	Cu	XLPE	Unipolar	RHZ1-OL 18/30KV	3x(1x185)

Tabla 6. Secciones definitivas en circuitos de MT

### 6.2.1.2 Circuitos de BT

Para dimensionar correctamente los circuitos en BT, se deben tener en cuenta los tres criterios que contempla el REBT (13). Dos de los criterios resultan de igual aplicación que para los circuitos de media tensión, por lo que sólo se nombrarán, y el tercero consiste en tener una caída de tensión entre la alimentación y la carga menor a un valor que bien lo determina el reglamento o el cliente.

- Capacidad de carga permanente: Se procede de la misma manera que para los conductores de MT pero aplicando la normativa relativa a los de baja tensión.
- Sección por cortocircuito: En el caso de la BT, la corriente de cortocircuito máxima que se puede dar es en el secundario del transformador de SS.AA, por lo que la sección debe soportar ese posible cortocircuito máximo en las bornas del secundario hasta que las protecciones actúen. Conforme la instalación avance aguas abajo, la intensidad de cortocircuito será menor hasta llegar al final de la carga donde se tiene la intensidad de cortocircuito mínima que se usa para comprobar la correcta elección del interruptor automático. En la Tabla 7 se tiene el cálculo de las intensidades de cortocircuito por el método óhmico en los bornes del secundario del transformador y en el CGBT. De esta manera, para la comprobación del magnetotérmico de cada circuito sólo es necesario hallar la resistencia de la línea que alimenta a cada carga y con ello la corriente mínima de cortocircuito.

Acometida Media Tensión que alimenta al conjunto de celdas de media tensión		
Intensidad CC		25.000 A
C	$I''_{kQ} = \frac{c \times U_{nQ}}{\sqrt{3} \times Z_Q}$	1,05
Tensión acometida Unq		20.000 V
Z <sub>Q</sub> = Impedancia acometida		0,484974226 Ω
R <sub>Q</sub> = Resistencia acometida	$R_Q = 0,1 \times X_Q$	0,048254935 Ω
X <sub>Q</sub> = Reactancia acometida	$X_Q = 0,995 \times Z_Q$	0,482549355 Ω
Impedancia compleja	$Z_Q = R_Q + jX_Q$	0,04825 + 0,48254i Ω

LÍNEA ACOMETIDA TRANSFORMADOR		
Tipo de cable		RHZ1-OL 18/30 Kv 3x1x185mm <sup>2</sup>
Sección cable		185 mm <sup>2</sup>
Número de cables		3
Longitud línea		5 m
Resistencia lineal (dato procedente de catálogo fabricante)		0,00003081 Ω/m
Reactancia lineal (dato procedente de catálogo fabricante)		0,000111 Ω/m
Resistencia línea		0,00015405 Ω
Reactancia línea		0,00077025 Ω
Impedancia compleja		0,000154 + 0,00077i Ω

IMPEDANCIA EN BAJA TENSIÓN		
Z <sub>at</sub>		0,048404 + 0,48331i Ω
R <sub>at</sub>		0,048254935 Ω
X <sub>at</sub>		0,482549355 Ω
Nivel de tensión en BT		400 V
Relación de transformación		0,02
R <sub>bt</sub>		1,9302E-05 Ω
X <sub>bt</sub>		0,00019302 Ω
Z <sub>bt</sub>		0,000193 + 0,000193i Ω

IMPEDANCIA TRAFOS S.S.AA		
Potencia nominal del transformador		630.000 VA
Tensión porcentual de cortocircuito ucc%		4 %
Pérdidas del Cobre Pcu (W) (estimado en función de la potencia del trafo)		7.600 W
Impedancia trafo	$Z_T = \frac{u_{cc} U_{nT}^2}{100 S_{nT}} = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$	0,01015873 $\Omega$
Resistencia trafo	$R_T = \frac{u_{RCC} U_{nT}^2}{100 S_{nT}} = \frac{p_{Cu,n}}{3 \times I_{nT}^2} = p_{Cu,n} \times \frac{U_{nT}^2}{S_{nT}^2}$	0,003063744 $\Omega$
Reactancia trafo	$X_T = \frac{u_{XCC} U_{nT}^2}{100 S_{nT}} = \frac{1}{100 S_{nT}} \times \sqrt{u_{cc}^2 - u_{RCC}^2} = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}$	0,0096857251 $\Omega$
Factor corrector	$K_T = 0,95 \times \frac{c_{max}}{1 + 0,6 \times X_T}$	0,975185297
$\chi_T$	$\chi_T = \frac{X_T}{U_{nT}^2 / S_{nT}}$	0,038137543
Resistencia corregida		0,002987718 $\Omega$
Reactancia corregida		0,009445377 $\Omega$
<b>Impedancia corregida</b>		<b>0,002987 + 0,00944i</b> $\Omega$
<b>Intensidad de cortocircuito en el secundario del transformador</b>		<b>23324,22 A</b>
IMPEDANCIA PLETINAS DE COBRE		
Material		Cobre
Número de pletinas		2 ud.
Longitud total		3 m
Reactancia lineal		0,00015 $\Omega/m$
<b>Impedancia pletina</b>		<b>0,00045i</b> $\Omega$
IMPEDANCIA EN INTERRUPTORES		
Número interruptores		2 ud.
Reactancia por interruptor		0,00015 $\Omega$
<b>Impedancia interruptores hasta linea (<math>\Omega</math>)</b>		<b>0,0003i</b> $\Omega$
IMPEDANCIA TOTAL HASTA PRINCIPIO DE LINEA		
<b>Z total (<math>\Omega</math>)</b>		<b>0,00318 + 0,0102i</b> $\Omega$
<b>Intensidad de cortocircuito que llega al cuadro</b>		<b>21615,08 A</b>

Tabla 7. Cálculo de la intensidad de cortocircuito hasta CGBT

- Sección por caída de tensión. Las caídas de tensión desde el inicio de la instalación hasta el extremo más alejado de cada línea serán de 4,5% para el alumbrado, 6,5% para la fuerza y por exigencia del cliente los SS.AA. de los contenedores de baterías no deben de tener una caída de tensión mayor al 1% de la tensión nominal. La fórmula usada para el cálculo de la sección por caída de tensión, dependiendo de si el circuito es monofásico o trifásico será:

$$s_{cat} = \frac{2 * P * L}{\sigma * u * V} [mm^2] \text{ para circuitos monofásicos}$$

$$s_{cat} = \frac{P * L}{\sigma * u * V} [mm^2] \text{ para circuitos trifásicos}$$

Donde  $\sigma$  es la conductividad del cobre y  $u$  la caída de tensión máxima permitida en cada circuito, según el tipo de carga que alimente.

Una vez hallada la sección que cumple con el criterio más restrictivo de los mencionados anteriormente se debe dimensionar la correcta protección del circuito eléctrico. Se distinguen protecciones frente a sobretensiones y cortocircuitos y frente a contactos directos e indirectos:

- Protección frente a sobretensiones y cortocircuitos: Se realizará mediante la instalación de interruptores automáticos al inicio de cada circuito y en la cabecera del CGBT, protegiendo al mismo. Los interruptores automáticos o magnetotérmicos deben cumplir una serie de criterios para asegurar la correcta protección del circuito:
  - Protección contra sobrecargas: Se conoce como sobrecarga a corrientes mayores que la nominal que se mantienen durante un tiempo prolongado. Producen un aumento de las pérdidas y de la temperatura. La característica de funcionamiento de un dispositivo que protege un circuito contra sobrecargas debe satisfacer:
    - Principio de la intensidad nominal:  $I_B \leq I_n \leq I_z$   
Donde  $I_B$  es la corriente para la que se ha diseñado el circuito,  $I_n$  la corriente nominal del interruptor automático e  $I_z$  la intensidad admisible del cable en función del modo de instalación utilizado.
    - Principio de disparo:  $I_2 \leq 1,45 * I_z$   
Siendo  $I_2$  la corriente que asegura la actuación del dispositivo de protección. Esta condición se cumple siempre para interruptores automáticos.
  - Protección contra cortocircuitos. Se conoce como corriente de cortocircuito a corrientes muy elevadas debidas a fallos de aislamiento, rotura de conductores, averías en equipos, errores humanos, etc..., que producen los máximos esfuerzos térmicos y electrodinámicos de la instalación por lo que deben ser eliminados lo antes posible. Los criterios que se deben satisfacer son:
    - Criterio de poder de corte:  $I_{Cu} \leq I'_k$   
El poder de corte del dispositivo de protección debe ser igual o mayor que la intensidad de cortocircuito máxima prevista en su punto de instalación.
    - Criterio de energía pasante:  $(I_{cc}^2 * t_{cc}) \leq k^2 * s^2$   
La energía que deja pasar el interruptor automático antes de abrir el circuito debe ser menor o igual a la energía que es capaz de soportar el cable antes de quemarse.
    - Criterio de intensidad mínima de cortocircuito:  $I_{mag} \leq I_{cc-min}$   
El disparo magnético del interruptor automático debe abrir el cortocircuito mínimo que pueda producirse al final del circuito protegido. Se distinguen dos fórmulas para hallar el cortocircuito mínimo según sea el cortocircuito fase-fase o fase-neutro y tripolar.

$$I_{cc-min} = \frac{0,8 * V}{m * L * \sqrt{1,25 * (r_f + r_n)^2 + (x_f + x_n)^2}} [A]$$

Siendo m igual a 2 si el cortocircuito es fase-fase o  $\sqrt{3}$  si es fase-neutro o tripolar.

Por otro lado, el disparo magnético se define como:  $I_{mag} = n * I_n$  donde  $I_n$  es la intensidad nominal del interruptor automático y n es un valor adimensional que depende de la curva a la que funcione la protección, siendo para las curvas más comunes B, C y D los valores típicos 5, 10 y 20 respectivamente. Para circuitos de aplicaciones generales como alumbrado y fuerza, como los circuitos en estudio, se usa la curva tipo C.

- Protección frente a contactos directos e indirectos: Se definen los contactos directos como aquéllos que se dan cuando una persona o animal entra en contacto con partes activas de los materiales o equipos, mientras que el contacto indirecto es aquél en el cual la persona o animal entra en contacto con partes que se han puesto bajo tensión como resultado de un fallo de aislamiento.

Un punto de la alimentación está conectado a tierra y las masas están directamente conectadas a tierra también por lo que se trata de un esquema TT. A la hora de elegir un interruptor diferencial se deben cumplir dos criterios:

- Criterio de protección:  $I_{\Delta n} * R_A \leq U_L$

Donde la corriente a partir de la cual el interruptor diferencial actúa multiplicada por la resistencia de tierra debe ser menor o igual a la tensión límite de seguridad.

- Criterio de elección:  $I_{\Delta n_{o\ fun}} = \frac{1}{2} * I_{\Delta n} \gg I_{fugas}$

Para este criterio se debe cumplir que la corriente de fuga que pueda existir en la instalación debe ser mucho menor que la mitad de la intensidad a la que actúa el interruptor diferencial pero a la que no abre el circuito. Así, se evita un posible problema por corrientes de fuga.

Con estas consideraciones a la hora de dimensionar los circuitos se obtienen las Tablas 8 y 9 en las cuales se presentan los datos de los circuitos y sus protecciones respectivamente para los circuitos en corriente alterna y la Tabla 10 para los circuitos en corriente continua.

DENOMINACION DEL CIRCUITO	DATOS SOBRE LA ALIMENTACION Y LA CARGA						DATOS SOBRE EL CONDUCTOR										DATOS SOBRE LA CANALIZACION Y ENTORNO								
	POLARIDAD	TENSION DE ALIMENTACION (V)	POTENCIA ELÉCTRICA (kW)	COS φ	CAÍDA DE TENSION ACUMULADA (%)	CAÍDA DE TENSION MÁXIMA (%)	MATERIAL CONDUCTOR	LONGITUD (m)	CABLE UNIPOLAR O MULTIPOLAR	SECCIÓN DEL CONDUCTO NEUTRO	SECCIÓN DEL CONDUCTO DE PROTECCIÓN	NÚMERO DE CONDUCTORES POR FASE	Nº CONDUCTORES	AISLAMIENTO DEL CABLE	TENSION DE AISLAMIENTO	REACTANCIA DEL CABLE (mΩ/m)	CANALIZACION	MÉTODO DE MONTAJE	UBICACION	Nº DE CIRCUITOS EN LA CANALIZACION	Nº DE CAPAS POR BANDEJA (si corresponde)	FACTOR CORRECTOR PO AGRUPACION	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	FACTOR CORRECTOR PO TEMPERATURA	LOCAL CON RIESGO DE INCENDIO O EXPLOSION
SS.AA. CONTAINER POWERHOUSE N 1	3P	400	41,08	0,90	0,00	1,00	COBRE 41	UNI	SN-SF	NO	1	IIHN	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	8	1	0,60	25	1,00	NO	
SS.AA. CONTAINER POWERHOUSE N 2	3P	400	41,08	0,90	0,00	1,00	COBRE 36	UNI	SN-SF	NO	1	IIHN	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	8	1	0,60	25	1,00	NO	
SS.AA. CONTAINER POWERHOUSE N 3	3P	400	41,08	0,90	0,00	1,00	COBRE 35	UNI	SN-SF	NO	1	IIHN	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	8	1	0,60	25	1,00	NO	
SS.AA. CONTAINER POWERHOUSE N 4	3P	400	41,08	0,90	0,00	1,00	COBRE 40	UNI	SN-SF	NO	1	IIHN	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	8	1	0,60	25	1,00	NO	
SS.AA. CONTAINER POWERHOUSE N 5	3P	400	41,08	0,90	0,00	1,00	COBRE 51	UNI	SN-SF	NO	1	IIHN	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	8	1	0,60	25	1,00	NO	
SS.AA. CONTAINER POWERHOUSE N 6	3P	400	41,08	0,90	0,00	1,00	COBRE 63	UNI	SN-SF	NO	1	IIHN	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	8	1	0,60	25	1,00	NO	
SS.AA. CONTAINER POWERHOUSE N 7	3P	400	41,08	0,90	0,00	1,00	COBRE 63	UNI	SN-SF	NO	1	IIHN	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	8	1	0,60	25	1,00	NO	
SS.AA. CONTAINER POWERHOUSE N 8	3P	400	41,08	0,90	0,00	1,00	COBRE 63	UNI	SN-SF	NO	1	IIHN	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	8	1	0,60	25	1,00	NO	
RESERVA CONTAINERS-1	3P	400	41,08	0,90																					
RESERVA CONTAINERS-2	3P	400	41,08	0,90																					
CLIMATIZACION AUXILIAR ENERGYHOUSE N 1	3P	400	15,00	0,90	0,00	5,50	COBRE 41	MULTI	SN-SF	NO	1	IIHN	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	8	1	0,60	25	1,00	NO	
CLIMATIZACION AUXILIAR ENERGYHOUSE N 2	3P	400	15,00	0,90	0,00	5,50	COBRE 36	MULTI	SN-SF	NO	1	IIHN	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	8	1	0,60	25	1,00	NO	
CLIMATIZACION AUXILIAR ENERGYHOUSE N 3	3P	400	15,00	0,90	0,00	5,50	COBRE 35	MULTI	SN-SF	NO	1	IIHN	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	8	1	0,60	25	1,00	NO	
CLIMATIZACION AUXILIAR ENERGYHOUSE N 4	3P	400	15,00	0,90	0,00	5,50	COBRE 40	MULTI	SN-SF	NO	1	IIHN	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	8	1	0,60	25	1,00	NO	
CLIMATIZACION AUXILIAR ENERGYHOUSE N 5	3P	400	15,00	0,90	0,00	5,50	COBRE 51	MULTI	SN-SF	NO	1	IIHN	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	8	1	0,60	25	1,00	NO	
CLIMATIZACION AUXILIAR ENERGYHOUSE N 6	3P	400	15,00	0,90	0,00	5,50	COBRE 67	MULTI	SN-SF	NO	1	IIHN	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	8	1	0,60	25	1,00	NO	
CLIMATIZACION AUXILIAR ENERGYHOUSE N 7	3P	400	15,00	0,90	0,00	5,50	COBRE 63	MULTI	SN-SF	NO	1	IIHN	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	8	1	0,60	25	1,00	NO	
CLIMATIZACION AUXILIAR ENERGYHOUSE N 8	3P	400	15,00	0,90	0,00	5,50	COBRE 63	MULTI	SN-SF	NO	1	IIHN	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	8	1	0,60	25	1,00	NO	
RESERVA AUXILIAR ENERGYHOUSE N 1	3P	400	15,00	0,90																					
RESERVA AUXILIAR ENERGYHOUSE N 2	3P	400	15,00	0,90																					
ACOMIDA EXTERIOR SS.VV.	3P	400	120,00	0,90	0,00	4,50	COBRE 400	MULTI	SN-SF	NO	1	IIHN	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	8	1	0,60	25	1,00	NO	
TOMA DE CORRIENTE BESS-1	3P	400	33,00	0,80	0,00	6,50	COBRE 37	MULTI	SN-SF	NO	1	IIHN	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	1	1	0,80	25	1,00	NO	
TOMA DE CORRIENTE BESS-2	3P	400	33,00	0,80	0,00	6,50	COBRE 39	MULTI	SN-SF	NO	1	IIHN	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	1	1	0,80	25	1,00	NO	
TOMA DE CORRIENTE TRIFASICA EDIFICIO	3P	400	33,00	0,80	0,00	6,50	COBRE 10	MULTI	SN-SF	SP-SF	1	IIH+MTT	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	B2	SUPERFICIE	1	1	0,80	40	1,00	NO	
RESERVA TRIFASICA	3P	400	33,00	0,80																					
RESERVA TRIFASICA	3P	400	33,00	0,80																					
ALUMBRADO EXTERIOR CTO. 1	2P	230	0,70	0,90	0,00	4,50	COBRE 52	MULTI	SN-SF	NO	1	II	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	1	1	0,80	25	1,00	NO	
ALUMBRADO EXTERIOR CTO. 2	2P	230	0,64	0,90	0,00	4,50	COBRE 50	MULTI	SN-SF	NO	1	II	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	1	1	0,80	25	1,00	NO	
ALUMBRADO EXTERIOR CTO. 3	2P	230	0,61	0,90	0,00	4,50	COBRE 65	MULTI	SN-SF	NO	1	II	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	1	1	0,80	25	1,00	NO	
ALUMBRADO EXTERIOR CTO. 4	2P	230	0,61	0,90	0,00	4,50	COBRE 75	MULTI	SN-SF	NO	1	II	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	D	ENTERRADO	1	1	0,80	25	1,00	NO	
CLIMATIZACION EDIFICIO CTO. 1	2P	230	3,82	0,85	0,00	6,50	COBRE 10	MULTI	SN-SF	SP-SF	1	II+TT	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	B2	SUPERFICIE	1	1	0,80	40	1,00	NO	
CLIMATIZACION EDIFICIO CTO. 2	2P	230	3,82	0,85	0,00	6,50	COBRE 10	MULTI	SN-SF	SP-SF	1	II+TT	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	B2	SUPERFICIE	1	1	0,80	40	1,00	NO	
CLIMATIZACION EDIFICIO CTO. 3	2P	230	3,82	0,85	0,00	6,50	COBRE 10	MULTI	SN-SF	SP-SF	1	II+TT	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	B2	SUPERFICIE	1	1	0,80	40	1,00	NO	
CLIMATIZACION EDIFICIO CTO. 4	2P	230	1,56	0,85	0,00	6,50	COBRE 10	MULTI	SN-SF	SP-SF	1	II+TT	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	B2	SUPERFICIE	1	1	0,80	40	1,00	NO	
ALUMBRADO INTERIOR CTO. 1	2P	230	0,93	0,95	0,00	4,50	COBRE 10	MULTI	SN-SF	SP-SF	1	II+TT	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	B1	SUPERFICIE	1	1	0,80	40	1,00	NO	
ALUMBRADO INTERIOR CTO. 2	2P	230	0,81	0,95	0,00	4,50	COBRE 10	MULTI	SN-SF	SP-SF	1	II+TT	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	B1	SUPERFICIE	1	1	0,80	40	1,00	NO	
ALUMBRADO INTERIOR CTO. 3	2P	230	0,23	0,95	0,00	4,50	COBRE 10	MULTI	SN-SF	SP-SF	1	II+TT	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	B1	SUPERFICIE	1	1	0,80	40	1,00	NO	
ALUMBRADO INTERIOR EMERGENCIA	2P	230	0,13	0,95	0,00	4,50	COBRE 10	MULTI	SN-SF	SP-SF	1	II+TT	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	B1	SUPERFICIE	1	1	0,80	40	1,00	NO	
TOMAS DE CORRIENTE MONO EDIFICIO CTO. 1	2P	230	2,00	0,85	0,00	6,50	COBRE 10	MULTI	SN-SF	SP-SF	1	II+TT	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	B1	SUPERFICIE	1	1	0,80	40	1,00	NO	
TOMAS DE CORRIENTE MONO EDIFICIO CTO. 2	2P	230	2,00	0,85	0,00	6,50	COBRE 10	MULTI	SN-SF	SP-SF	1	II+TT	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	B1	SUPERFICIE	1	1	0,80	40	1,00	NO	
TOMAS DE CORRIENTE MONO EDIFICIO CTO. 3	2P	230	2,00	0,85	0,00	6,50	COBRE 10	MULTI	SN-SF	SP-SF	1	II+TT	RZ-H	0,61KV	0,08	BAJO TUBO	B1	SUPERFICIE	1	1	0,80	40	1,00	NO	
ALIMENTACION UPS	2P	230	4,50	0,85	0,00	6,50	COBRE 10	MULTI	SN-SF	NO	1	II	RZ-H	0,61KV	0,08	CANAL NO PERFORADO	E	SUPERFICIE	6	1	0,75	40	1,00	NO	
RESERVA MONOFASICA	2P	230	3,00	0,85																					
RESERVA MONOFASICA	2P	230	3,00	0,85																					
RESERVA MONOFASICA	2P	230	3,00	0,85																					
FUERZA ARMARIO TELECOMUNICACIONES	2P	230	5,75	0,85	0,00	6,50	COBRE 10	MULTI	SN-SF	NO	1	II	RZ-H	0,61KV	0,08	CANAL NO PERFORADO	C	SUPERFICIE	6	1	0,70	40	1,00	NO	
FUERZA ARMARIO TELECOMUNICACIONES	2P	230	2,30	0,85	0,00	6,50	COBRE 10	MULTI	SN-SF	NO	1	II	RZ-H	0,61KV	0,08	CANAL NO PERFORADO	C	SUPERFICIE	6	1	0,70	40	1,00	NO	
FUERZA ARMARIO CONTROL EMS	2P	230	2,30	0,85	0,00	6,50	COBRE 10	MULTI	SN-SF	NO	1	II	RZ-H	0,61KV	0,08	CANAL NO PERFORADO	C	SUPERFICIE	6	1	0,70	40	1,00	NO	
FUERZA ARMARIO CONTROL EMS	2P	230	2,30	0,85	0,00	6,50	COBRE 10	MULTI	SN-SF	NO	1	II	RZ-H	0,61KV	0,08	CANAL NO PERFORADO	C	SUPERFICIE	6	1	0,70	40	1,00	NO	
FUERZA ARMARIO COMUNICACIONES	2P	230	2,30	0,85	0,00	6,50	COBRE 10	MULTI	SN-SF	NO	1	II	RZ-H	0,61KV	0,08	CANAL NO PERFORADO	C	SUPERFICIE	6	1	0,70	40	1,00	NO	

Tabla 8. Condiciones de instalación de los circuitos de CA en BT





### 6.3 Inversor

Para dimensionar el inversor se ha realizado el balance de potencias que se puede observar en la Tabla 11, en el cual se ha obtenido una potencia de 3,15 kW teniendo en cuenta los distintos factores que afectan al mismo. En el balance se han identificado las distintas cargas que alimentará el inversor. Para la descripción de las distintas cargas se ha usado la misma nomenclatura que para el transformador de SS.AA.

Descripción	Calibre protección (A)	Tipo carga	Tensión Nominal (V)	Tipo tensión	Tipo alimentación	Potencia instalada (kW)	Coefficiente de carga	Rendimiento	Factor de simultaneidad	Potencia consumida (kW)	Factor de potencia	Intensidad nominal (A)	Potencia reactiva(kVAr)	Potencia aparente(kVA)
ARMARIO CONTROL EMS (PLC Cía.)	10	CF	230	S	TI	0,54	1,00	0,90	0,5	0,300	0,80	1,8	0,31	0,43
CENTRALITA PCI	10	CF	230	S	TI	0,70	1,00	1,00	0,8	0,560	1,00	2,4	0,87	1,04
ARMARIO CONTROL de containers	10	CF	230	S	TI	0,92	1,00	0,90	0,5	0,511	0,90	2,7	0,64	0,82
ARMARIO COMUNICACIONES (Cía.)	10	CF	230	S	TI	0,40	1,00	0,90	0,5	0,222	0,90	1,2	0,28	0,36
SCADA EMS (Cía.) - Enchufes (3)	10	CF	230	S	TI	0,70	1,00	0,90	1,0	0,778	0,90	4,2	0,98	1,25
SCADA SMS (Containers) - Enchufes (3)	10	CF	230	S	TI	0,70	1,00	0,90	1,0	0,778	0,90	4,2	0,98	1,25
RESERVA	10	CF	230	S	TI	1,00	1,00	1,00	0,9	0,000	1,00	0,0	0	0,00
RESERVA	10	CF	230	S	TI	1,00	1,00	1,00	0,8	0,000	1,00	0,0	0	0,00
						<b>INSTALADA</b>	<b>5,96</b>			<b>CONSUMIDA</b>	<b>3,15</b>		4,07	5,15

Tabla 11. Balance de potencias para el dimensionamiento del inversor

### 6.4 Instalaciones auxiliares

#### 6.4.1 Protección contra incendios

Como se ha explicado en el capítulo quinto, para determinar el riesgo intrínseco de fuego y los materiales que son necesarios para la construcción se ha hecho uso de la normativa vigente, el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales (RSCIEI) (7). De acuerdo a lo anterior, se han empleado las siguientes expresiones para hallar la carga de fuego  $Q_S$ .

- En función de las actividades de producción y venta:  $Q_S = \frac{\sum_1^i (q_{si} S_i C_i)}{A} R_a \quad \left[ \frac{Mcal}{m^2} \right]$
- En función de los materiales combustibles:  $Q_S = \frac{\sum_1^i (q_i G_i C_i)}{A} R_a \quad \left[ \frac{Mcal}{m^2} \right]$

Para realizar el cálculo se han considerado los valores que se pueden observar en la Tabla 12, siguiendo el criterio expresado en la normativa según el tipo de actividad.

Actividad	Fabricación y venta		Coefficiente peligrosidad cble.	Superficie de cada zona	Masa cble.
	Q (Mcal/m <sup>2</sup> )	Ra	C	S (m <sup>2</sup> )	G (kg)
Aparatos eléctricos	96	1	1	120	-
Acumuladores eléctricos	192	1,5	1	8	-
Lana de roca, aislamiento del contenedor	0,72	1	1	-	916
Transformadores	72	1,5	1	7,25	-
Oficina técnica	144	1	1	33,42	-

Tabla 12. Valores usados en el cálculo del nivel de riesgo

Aplicando las formulas anteriores se obtiene el nivel de riesgo intrínseco de cada sector de incendios tal y

como se muestra en la Tabla 13.

Zona	Tipo Edificio	A (m <sup>2</sup> )	Q (Mcal/m <sup>2</sup> )	Nivel de riesgo
Edificio eléctrico	C	120	144	<b>BAJO 2</b>
Contenedor PH1	C	29,68	162	<b>BAJO 2</b>
Contenedor PH2	C	29,68	162	<b>BAJO 2</b>
Contenedor PH3	C	29,68	162	<b>BAJO 2</b>
Contenedor PH4	C	29,68	162	<b>BAJO 2</b>
Contenedor PH5	C	29,68	162	<b>BAJO 2</b>
Contenedor PH6	C	29,68	162	<b>BAJO 2</b>
Contenedor PH7	C	29,68	162	<b>BAJO 2</b>
Contenedor PH8	C	29,68	162	<b>BAJO 2</b>
Contenedor EH1	C	29,68	216	<b>MEDIO 3</b>
Contenedor EH2	C	29,68	216	<b>MEDIO 3</b>
Contenedor EH3	C	29,68	216	<b>MEDIO 3</b>
Contenedor EH4	C	29,68	216	<b>MEDIO 3</b>
Contenedor EH5	C	29,68	216	<b>MEDIO 3</b>
Contenedor EH6	C	29,68	216	<b>MEDIO 3</b>
Contenedor EH7	C	29,68	216	<b>MEDIO 3</b>
Contenedor EH8	C	29,68	216	<b>MEDIO 3</b>

Tabla 13. Nivel de riesgo intrínseco al fuego

## 6.4.2 Climatización del edificio

Tal y como se ha explicado en el apartado de diseño de la climatización del capítulo quinto, el edificio se divide en dos zonas. La sala de celdas que cuenta con 90 m<sup>2</sup> y la sala de control con 29 m<sup>2</sup> aproximadamente, el edificio cuenta con una altura de 4 m. Por lo tanto el volumen de cada zona térmica es de 361,2 m<sup>3</sup> para la sala de celdas y de 116,4 m<sup>3</sup> para la sala de control. En cuanto a la localización del edificio y las temperaturas en verano e invierno:

- Latitud: 36° 50' Norte
- Temperatura seca en verano: 34,4 °C
- Temperatura húmeda en verano: 23,4 °C
- Temperatura seca en invierno: 5,8 °C

A la hora de tener en cuenta el horario de funcionamiento y ocupación, se sabe que ambas salas estarán funcionando las 24 horas del día y que mientras que en la sala de celdas se estima que existirá una ocupación de 1 persona, en la sala de control podrán estar trabajando 2 personas simultáneamente. Por lo tanto, siguiendo el RITE en su instrucción técnica 1.1.4.2.3 “Caudal mínimo de aire exterior de ventilación” (9), se obtiene que ambas salas corresponden a un IDA3, aire de calidad media, y que en su apartado D “Método Indirecto de caudal de aire por unidad de superficie”, para espacios no dedicados a ocupación humana permanente se aplicará el valor de 0,55 L/s \* m<sup>2</sup> para la categoría IDA3. De este modo, el caudal volumétrico por hora necesario teniendo en cuenta la superficie de las salas será:

- Sala de celdas:  $0,55 \frac{dm^3}{s} * m^2 * 90 m^2 * \frac{3600 s}{1 h} * \frac{1 m^3}{1000 dm^3} = 178,2 m^3/h$
- Sala de control:  $0,55 \frac{dm^3}{s} * m^2 * 29 m^2 * \frac{3600 s}{1 h} * \frac{1 m^3}{1000 dm^3} = 57,42 m^3/h$

Para el diseño de los equipos necesarios, se indican en la Tabla 14 las distintas cargas térmicas existentes en los edificios de acuerdo a los fabricantes de los equipos. Para el cómputo global, se considera un factor de simultaneidad de 0,8, suponiendo que para el día más caluroso del año todos los equipos están funcionando al 80% de su capacidad.

<b>SALA DE CELDAS</b>		<b>Potencia (W)</b>
Conjunto de cuadros BT		2300
Conjunto de celdas MT		4200
Transformador SSAA, pérdidas en carga a 120°C		7600
	<b>Total</b>	<b>14100</b>
Coeficiente de simultaneidad		0,8
	<b>Carga térmica de cálculo</b>	<b>11280</b>
<b>SALA DE CONTROL</b>		<b>Potencia (W)</b>
Conjunto de cuadros BT		2760
Equipos informáticos		365
	<b>Total</b>	<b>3125</b>
Coeficiente de simultaneidad		0,8
	<b>Carga térmica de cálculo</b>	<b>2500</b>

Tabla 14. Cargas térmicas del edificio de control

### 6.4.3 Pararrayos

Como se ha citado anteriormente, para saber si es necesario el pararrayos y en caso de que lo sea, la protección, se calcula mediante el CTE-SUA8 (10) y la posterior aplicación de la norma UNE 21186 “Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivo de cebado” (18).

En dichas normativas, para calcular la necesidad o no de este tipo de protecciones contra sobretensiones se ha de hallar:

- Frecuencia anual de impactos directos de rayos esperados en una estructura.

$$N_e = N_g * A_e * C_1 * 10^{-6} = 1,5 * 7031 * 1 * 10^{-6} = 0,01$$

Donde  $N_g$  es el número de impactos de rayos en el terreno al año y por  $km^2$ . La central térmica se localiza en la provincia de Almería, por lo que según el mapa hialurónico de la Figura 33 le corresponde el valor de 1,5.  $A_e$  corresponde a la superficie de captura equivalente de la estructura aislada, de aproximadamente  $7.031 m^2$ . Y por último  $C_1$ , es un coeficiente relacionado con el entorno, cuyo valor es la unidad puesto que la instalación se encuentra aislada.

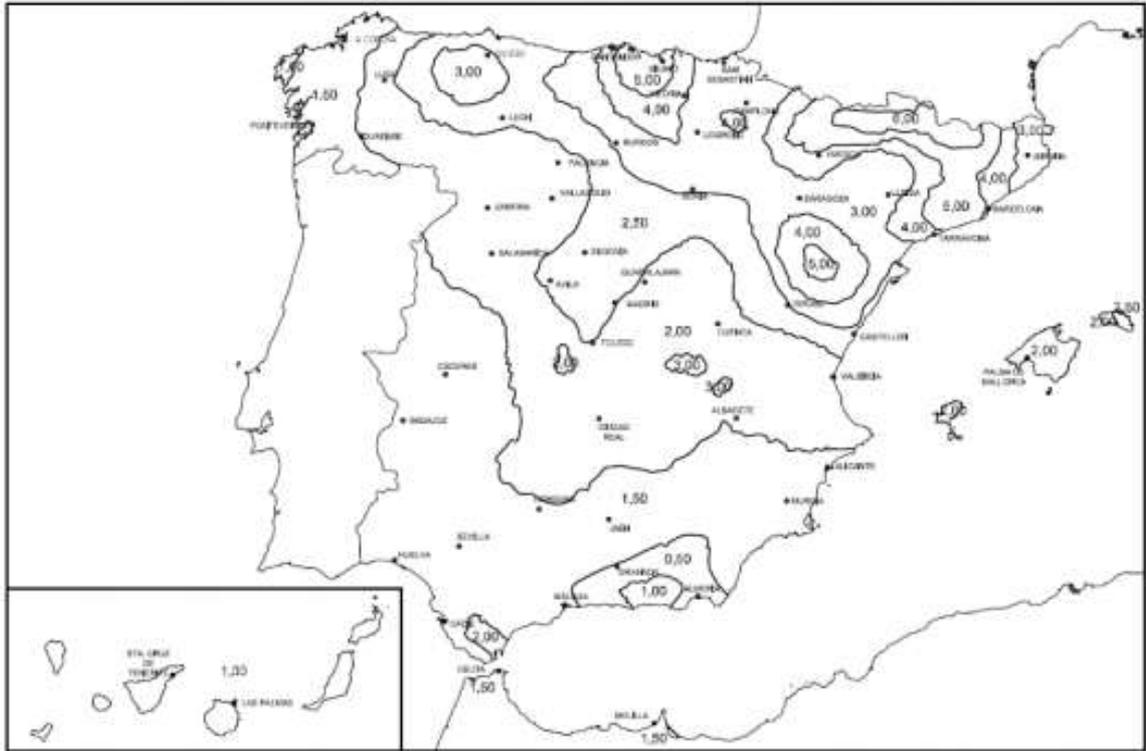


Figura 33. Mapa de densidad de impacto en el terreno

- Frecuencia anual media aceptable de rayos sobre una estructura.

$$N_a = \frac{5,5 * 10^{-3}}{C_2 * C_3 * C_4 * C_5} = \frac{5,5 * 10^{-3}}{1 * 3 * 0,5 * 1} = 3,667 * 10^{-3}$$

Donde  $C_2$  es un coeficiente relacionado con el tipo de construcción, que al estar el edificio de control hecho de hormigón, su valor es la unidad.  $C_3$  es otro coeficiente relacionado con el tipo de estructura y de si existen materiales inflamables en su interior, por lo tanto al existir baterías en los contenedores su valor es el máximo posible, 3.  $C_4$  depende de la ocupación del edificio, por lo que al existir poca ocupación su valor es 0,5. Por ultimo,  $C_5$  depende de si resulta imprescindible que la instalación esté continuamente en funcionamiento, de modo que al no ser una parte vital de la central el valor de este coeficiente resulta la unidad.

Luego, la normativa prevé este tipo de protección según la eficiencia que exista. La eficiencia se calcula como:

$$E = 1 - \frac{N_a}{N_e} = 1 - \frac{3,667 * 10^{-3}}{0,01} = 0,663$$

De acuerdo a la tabla 15 (10), corresponde a una protección de clase IV.

Eficiencia (E)	Nivel de protección
$E \geq 0,98$	Clase I + medidas complementarias
$0,95 < E \leq 0,98$	Clase II
$0,8 < E \leq 0,95$	Clase III
$0 < E \leq 0,8$	Clase IV

Tabla 15. Nivel de protección según la eficiencia



# 7 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES PRINCIPALES DEL SISTEMA ACTUAL

En este capítulo se va a hacer uso del software ETAP que tiene un gran potencial para los distintos cálculos y simulaciones que se realizan en sistemas de energía eléctrica, sobretodo para la media y alta tensión, por lo que resulta muy útil para simular el sistema BESS dentro de la central térmica.

En la Figura 36 se tiene el esquema general de la central térmica con el sistema BESS a partir del cual se trabajará y se realizarán las distintas simulaciones.

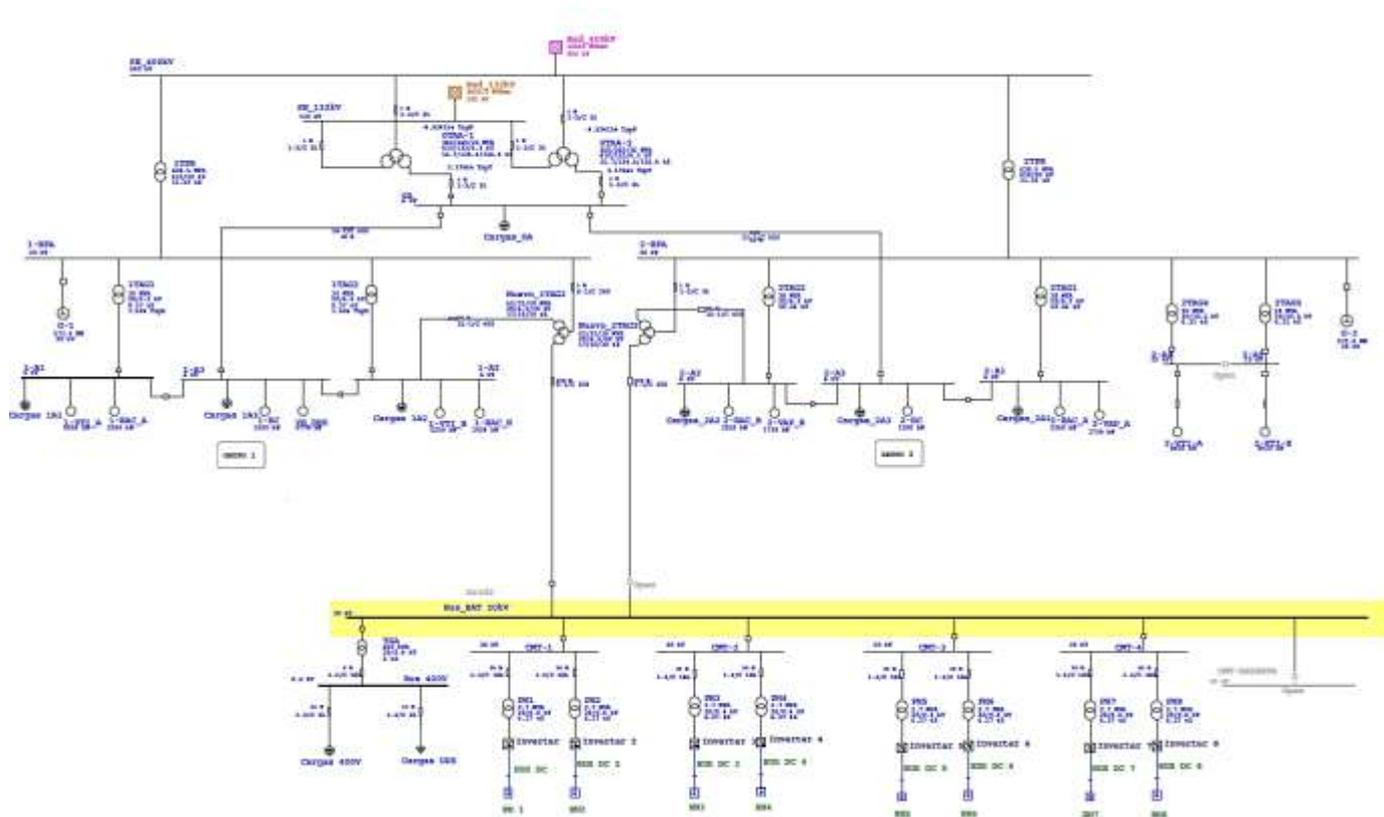


Figura 34. Esquema general de la central térmica en ETAP

## 7.1 Flujo de cargas

El estudio del flujo de cargas tiene como objetivo determinar las condiciones de operación del sistema eléctrico en régimen permanente, de su estudio se obtendrá el flujo de potencia en el sistema de baterías, las caídas de tensión y las intensidades que circulan por cada rama. Se considera la potencia real consumida por cada carga, su factor de potencia y rendimiento. Como todas las cargas no funcionarán al máximo de su potencia, se considera un coeficiente de simultaneidad del 80%. Como nos interesa el flujo de cargas de la nueva instalación, las figuras que se mostrarán a continuación corresponden a esa parte del conjunto del sistema obviando la instalación ya existente.

### 7.1.1 Flujo de cargas en un sistema BESS de 20 MW

Para el sistema BESS actual, que cuenta con 20 MW instalados, el flujo de cargas es el que se muestra en la Figura 35. En el cual se puede observar cómo un interruptor de los que conectan la barra de 20 kV se encuentra abierto, debido a que los dos transformadores no pueden alimentar dicha barra simultáneamente. Los datos que se muestran son las tensiones, representadas en p.u. con su correspondiente ángulo, y la

intensidad y potencia activa que demanda cada carga.

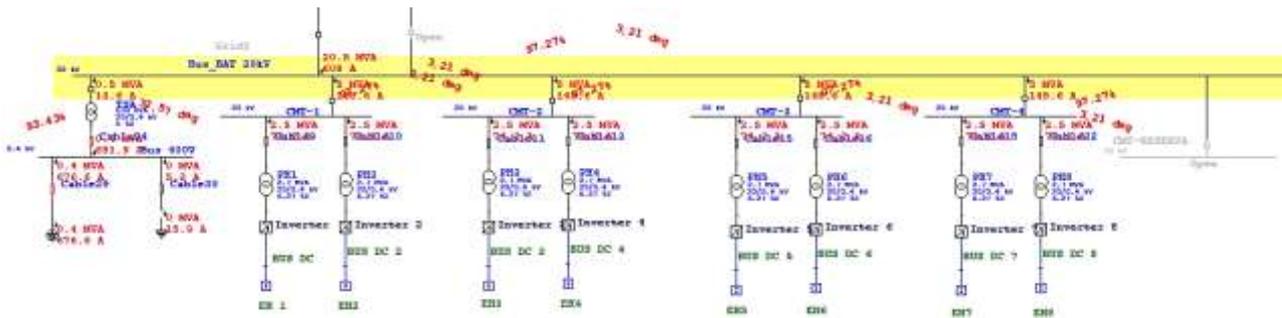


Figura 35. Flujo de cargas en un sistema BESS de 20 MW

A partir de estos datos, se pueden dimensionar los distintos conductores y protecciones por capacidad de carga permanente, a lo que habrá que añadir las condiciones impuestas por el estudio de cortocircuito que se verá a continuación. Se puede comprobar que tanto las secciones como los calibres de las protecciones calculadas anteriormente cumplen perfectamente con la normativa acorde a estos resultados.

## 7.2 Estudio de cortocircuito

El cálculo del cortocircuito permite obtener las corrientes de cortocircuito que circularían por la instalación y servirán para dimensionar correctamente los distintos equipos del sistema, además de servir para el ajuste de los elementos de protección. Para el estudio del cortocircuito se van a seguir las recomendaciones establecidas en la norma IEC 60909 (19).

Se realizará un estudio de cortocircuito para uno de los siguientes supuestos, y para cada supuesto se tendrán en cuenta los casos más y menos desfavorables. De este modo, los cálculos se realizarán para los cortocircuitos: trifásico (3F), línea a línea (L-L), línea a tierra (L-G) y línea línea a tierra (L-L-G) tanto en la barra de 20 kV del sistema BESS como en el secundario del transformador de servicios auxiliares.

Y los dos escenarios a tener en cuenta son:

- Escenario más desfavorable. Los dos grupos principales de generación acoplados y todas las celdas de MT del sistema BESS cerradas, es decir, el sistema de baterías funcionando en su conjunto.
- Escenario menos desfavorable. La central térmica no generará energía, es decir, los dos grupos de generación se encontrarán desacoplados y solo existirá una celda de MT cerrada. Por lo tanto se tendrá el sistema BESS funcionando al mínimo de su capacidad y la central térmica sin generar.

En ambos casos, y para que las simulaciones se ajusten lo máximo posible a la realidad, se tendrán en cuenta la aportación de las redes de 400 kV y 132 kV además de considerar en servicio todos los servicios auxiliares de la planta de generación térmica.

Al igual que para el estudio del flujo de carga, es necesario tener en cuenta que los dos transformadores que alimentan al sistema BESS no pueden trabajar simultáneamente debido al enclavamiento existente entre ambos, por lo que tan solo uno de ellos podrá alimentar las barras de 20 kV del sistema de baterías. A continuación se realiza el estudio de los escenarios explicados anteriormente. Los resultados completos de las simulaciones se encuentran en el Anexo 1.

### 7.2.1 Escenario más desfavorable

Se ha realizado la simulación en el software aplicando las condiciones para este tipo de escenario y los resultados que se obtienen se encuentran en la Tabla 16. Cabe decir que la corriente de cortocircuito L-G en la barra de 20 kV es nula debido a que los transformadores de los contenedores PH están conectados en triángulo-estrella sin conexión del neutro a tierra, debido a lo cual la suma de las corrientes de las tres fases

que van hacia el neutro de la estrella es nula. Además, puesto que las intensidades de las fases no contienen componentes de secuencia homopolar, la impedancia a la corriente de dicha secuencia es infinita.

ESCENARIO MÁS DESFAVORABLE				
	BUS BESS 20 KV		BUS 400 V	
	$I''_k$ max (kA)	$I''_k$ min (kA)	$I''_k$ max (kA)	$I''_k$ min (kA)
3F	16,2	12,78	23,5	17,8
L-L	14,03	11,07	20,36	15,43
L-G	0	0	21,8	16,43
L-L-G	14,03	11,07	23,05	17,38

Tabla 16. Corrientes de cortocircuito para las condiciones más desfavorables

En la Figura 36 se observa el resultado gráfico de la simulación realizada para el cortocircuito trifásico.

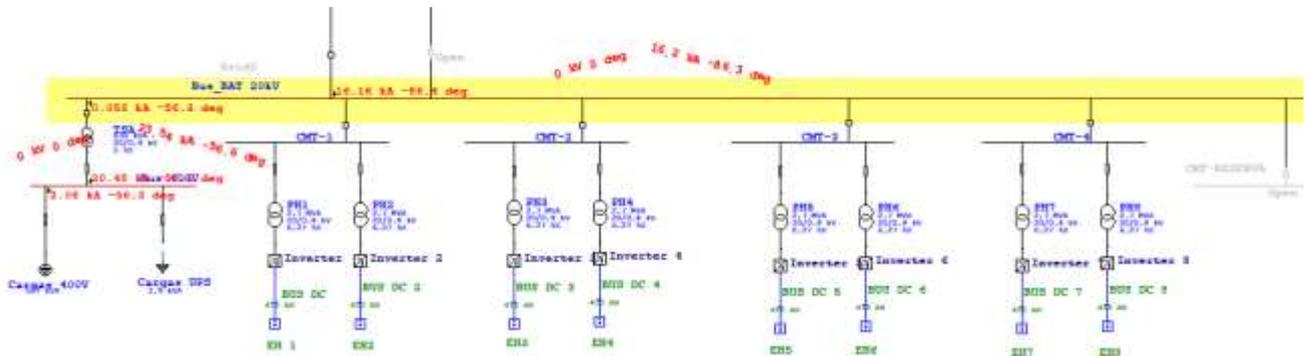


Figura 36. Simulación del cortocircuito trifásico para el escenario más desfavorable

### 7.2.2 Escenario menos desfavorable

Los resultados con las condiciones del escenario menos desfavorable se encuentran en la Tabla 17, donde se puede observar que en el bus de 20 kV las intensidades de cortocircuito han disminuido puesto que tanto los generadores como tres de las cuatros celdas de media tensión se encuentran desacopladas del sistema. Mientras que en el bus de 400 V apenas se nota la diferencia debido a que el sistema se mantiene conectado a las redes de 400 y 132 kV que son las que mas contribuyen al cortocircuito en la instalación, sumado a que muchas de las cargas que alimenta ese cuadro corresponden a equipos de refrigeración por lo que sus motores contribuyen al cortocircuito.

ESCENARIO MENOS DESFAVORABLE				
	BUS BESS 20 KV		BUS 400 V	
	$I''_k$ max (kA)	$I''_k$ min (kA)	$I''_k$ max (kA)	$I''_k$ min (kA)
3F	15,38	12,16	23,5	17,8
L-L	13,32	10,53	20,36	15,42
L-G	0	0	21,83	16,4
L-L-G	13,32	10,53	23,04	17,37

Tabla 17. Corrientes de cortocircuito para las condiciones menos desfavorables

En la Figura 37 se observa gráficamente el resultado de la simulación para el cortocircuito trifásico con las condiciones del escenario actual.

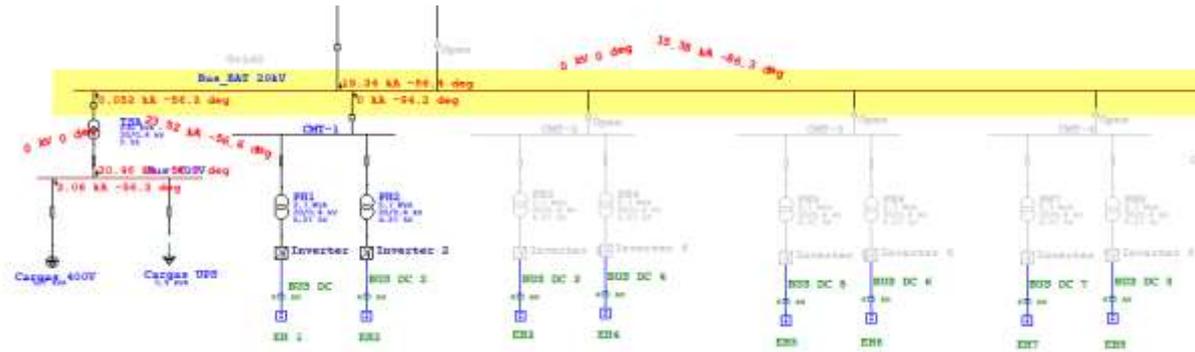


Figura 37. Simulación del cortocircito trifásico para el escenario menos desfavorable

### 7.3 Selectividad de las protecciones

El sistema de protecciones de una instalación eléctrica es el conjunto de dispositivos eléctricos cuya finalidad es proteger al sistema eléctrico de daños causados por sobrecorrientes y sobretensiones transitorias y permanentes que puedan ocasionar la pérdida de equipos, faltas en el sistema y peligro para las personas. El sistema de coordinación de las protecciones permite que los relés tengan la máxima sensibilidad ante la presencia de faltas y en condiciones no deseadas, pero evitando la operación de estos equipos en condiciones tolerables. En la Figura 38 se observa el sistema BESS anterior pero con los distintos transformadores de intensidad y tensión así como con los relés de protección incorporados en el diagrama.

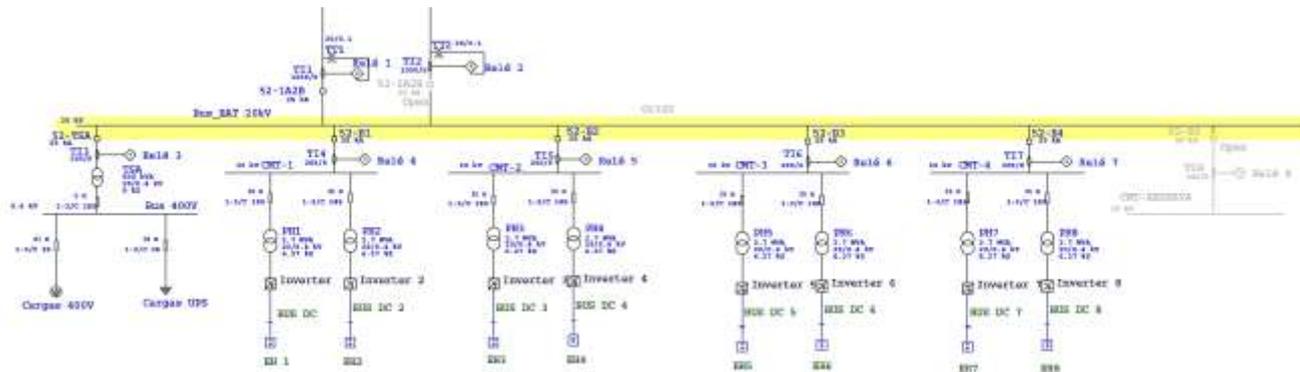


Figura 38. Sistema BESS con relés incorporados

Es necesario calibrar los distintos relés presentes en el esquema para que exista una coordinación entre las distintas protecciones. En el presente proyecto se va a realizar la calibración y coordinación de dichos relés para la sobrecorriente de tiempo inverso y la sobrecorriente de tiempo definido, las funciones 51 y 50 respectivamente según el código ANSI (20).

- Sobrecorriente de tiempo inverso. Función que se activa cuando la intensidad de un circuito de corriente alterna sobrepasa un valor dado. En la Figura 39 se observa un ejemplo de curva para esta función.



Figura 39. Ejemplo de actuación de relé de sobreintensidad de tiempo inverso

- Sobreintensidad de tiempo definido. Función que se activa instantáneamente con un valor excesivo de velocidad de aumento de la corriente. En la Figura 40 se observa un ejemplo de curva para esta función.



Figura 40. Ejemplo de actuación en relé de sobreintensidad de tiempo definido

### 7.3.1 Calibración del relé de la cabina 20 kV de salida del transformador de SS.AA.

En este apartado se deben de calibrar los interruptores del lado de alta y baja tensión del transformador de servicios auxiliares.

- Lado de alta tensión (20 kV):
  - o Sobreintensidad de tiempo inverso (función 51)

El relé se decide ajustar al 110% de la corriente nominal del lado de alta tensión del transformador de servicios auxiliares. El múltiplo de la intensidad nominal que mide el transformador de corriente se calcula, teniendo en cuenta la potencia del transformador de SS.AA., la tensión de la barra y la relación 150/5 A del TI:

$$I_n = \frac{1,1 * P}{\sqrt{3} * U} = \frac{1,1 * 630}{\sqrt{3} * 20} = 20 A$$

Luego, el valor de la intensidad en función de la relación del TI:

$$I_{51} = \frac{20}{30} = 0,667 A$$

El relé empezará a actuar cuando el transformador de intensidad mida una corriente de 0,667 A en su devanado secundario.

- o Sobreintensidad de tiempo definido (función 50)

Para calibrar esta función se debe de acotar la intensidad entre dos límites. Estos límites, medidos en 20 kV, serán la aportación mínima de la barra de 20 kV a un cortocircuito en la barra de 400 V y la aportación máxima de la barra de 400 V a un cortocircuito en la barra de 20 kV. Teniendo en cuenta el estudio de cortocircuito del punto anterior, se sabe que la aportación mínima de la barra de 20 kV a

un cortocircuito en la barra de 400 V es de 16,5 kA (330 A en base 20 kV) y que la aportación máxima de la barra de 400 V a un corto en la barra de 20 kV sería de 50 A. La calibración se realizará en el punto medio de ambas intensidades.

$$I_{media} = \frac{330 + 50}{2} = 190 \text{ A}$$

Luego, el valor de la intensidad en función de la relación del TI es:

$$I_{50} = \frac{190}{30} = 6,33 \text{ A}$$

El relé empezará a actuar cuando el transformador de intensidad mida una corriente de 6,33 A en su devanado secundario.

- Lado de baja tensión (400 V):
  - o Sobreintensidad de tiempo inverso (función 51)

En este lado del transformador existe un TI con una relación 1000/5 A, por lo que:

$$I_n = \frac{1,1 * 630}{\sqrt{3} * U} = \frac{1,1 * 630}{\sqrt{3} * 0,4} = 1000 \text{ A}$$

Luego, el valor de la intensidad en función de la relación del TI es:

$$I_{51} = \frac{1000}{200} = 5 \text{ A}$$

El relé actuará cuando el devanado secundario del TI mida 5 A.

- o Sobreintensidad de tiempo definido (función 50)

El criterio de ajuste se basará en la aportación mínima de la barra principal de 20 kV a un cortocircuito en la barra de 400 V, que resulta de 16,4 kA. Así:

$$I_{media} = \frac{16,4}{2} = 8,2 \text{ kA}$$

Luego, el valor de la intensidad en función de la relación del TI es:

$$I_{51} = \frac{8200}{200} = 41 \text{ A}$$

El relé actuará cuando el devanado secundario del TI mida 41 A.

### 7.3.2 Calibración relé cabina de acometida

- Sobreintensidad de tiempo inverso (función 51)

El relé en este caso se ajustará al 110% de la intensidad nominal de los dos transformadores de 2,7 MVA que alimentan la celda, cada celda acomete a dos containers PH. Teniendo en cuenta que la relación de los TI de cada celda de acometida es 200/5 A se obtiene:

$$I_n = \frac{1,1 * S}{\sqrt{3} * U} = \frac{1,1 * 2 * 2700}{\sqrt{3} * 20} = 171,5 \text{ A}$$

Luego, el valor de la intensidad en función de la relación del TI es:

$$I_{51} = \frac{1000}{40} = 25 \text{ A}$$

El relé actuará cuando el devanado secundario del TI mida 25 A.

- Sobreintensidad de tiempo definido (función 50)

El criterio de calibración para este caso tendrá en cuenta la intensidad mínima de cortocircuito que se da ante un cortocircuito en el nudo de 400V de los transformadores de los containers PH, que resulta de 12 kA.

$$I_{media} = \frac{12}{2} = 6 \text{ kA}$$

Luego, el valor de la intensidad en función de la relación del TI es:

$$I_{50} = \frac{6000}{40} = 150 \text{ A}$$

El relé empezará a actuar cuando el transformador de intensidad mida una corriente de 150 A en su devanado secundario, que es 30 veces la intensidad nominal del secundario del TI.

### 7.3.3 Calibración de los relés de cabecera de los transformadores auxiliares

Los relés anteriores no necesitan estar coordinados entre sí pero resulta necesario que ambos estén coordinados con los dos relés existentes en la cabecera del sistema BESS, uno por cada transformador auxiliar, para la correcta protección del mismo. En estos relés de cabecera sólo se coordinará la protección de sobreintensidad de tiempo inverso para proteger las posibles sobrecargas del conductor que conecta el transformador auxiliar de la central térmica con la barra de 20 kV del sistema BESS. En este caso no se cree necesario proteger frente a sobreintensidad de tiempo definido puesto que es extremadamente difícil que se produzca una falta en la barra de 20 kV y si por lo tanto ocurre dicha falta en alguna celda de la nueva instalación, los interruptores de cabecera abrirán toda la instalación dejándola parada hasta la extinción de la misma y el rearme del interruptor.

El criterio de ajuste para estas protecciones será del 110% de la corriente máxima que podría transcurrir por los conductores. Sabiendo que el transformador es capaz de transformar una potencia de 20 MVA y que el TI tiene una relación 1000/5 A se obtiene:

$$I_n = \frac{1,1 * S}{\sqrt{3} * U} = \frac{1,1 * 20000}{\sqrt{3} * 20} = 635,085 \text{ A}$$

Luego, el valor de la intensidad en función de la relación de transformación del TI es:

$$I_{51} = \frac{635,085}{200} = 3,17 \text{ A}$$

El relé actuará cuando el TI mida una corriente de 3,17 A en su devanado secundario.

### 7.3.4 Coordinación de las protecciones

El resultado de la coordinación de los distintos relés de protección se presenta en la Figura 41 en la cual se muestra el resultado que ofrece el software ETAP una vez que se han calibrado los distintos relés. En la figura, para que la solución sea más gráfica se ha separado el rango de actuación de los relés correspondientes a las celdas de acometida a los contenedores de baterías. Aunque en la realidad, deberían de estar sobrepuestas. Por otro lado, con los relés 3 y 9 se garantiza la protección del transformador de SS.AA. y del cable del secundario del mismo y los relés 1 y 2, correspondientes a los relés de cabecera, abrirán más tarde en caso de falta por criterios de selectividad.

En la gráfica se han incluido las corrientes de magnetización de los dos tipos de transformadores a proteger por los relés de protección. Se deben tener en cuenta a la hora de coordinar los dispositivos, puesto que en la magnetización de los transformadores en estudio se alcanzan corrientes de 8 veces la nominal.

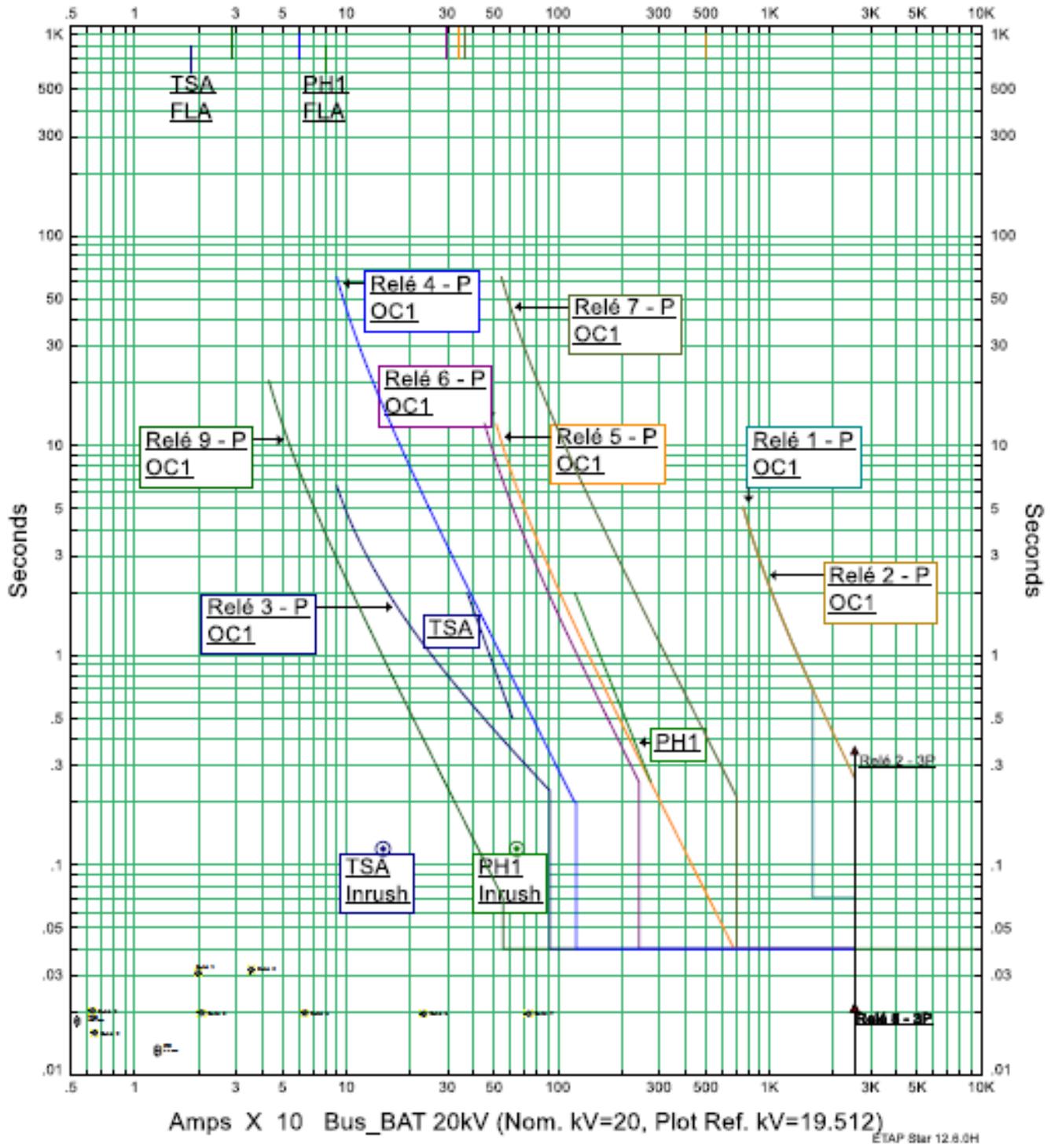


Figura 41. Coordinación de los relés de protección

### 7.3.5 Simulación de una falta en la instalación y reacción del sistema de protecciones

En este apartado se va a simular una falta en el sistema BESS, en concreto en una de las celdas de media tensión de la instalación. En la Figura 42 se observa el lugar donde se va a producir la falta.

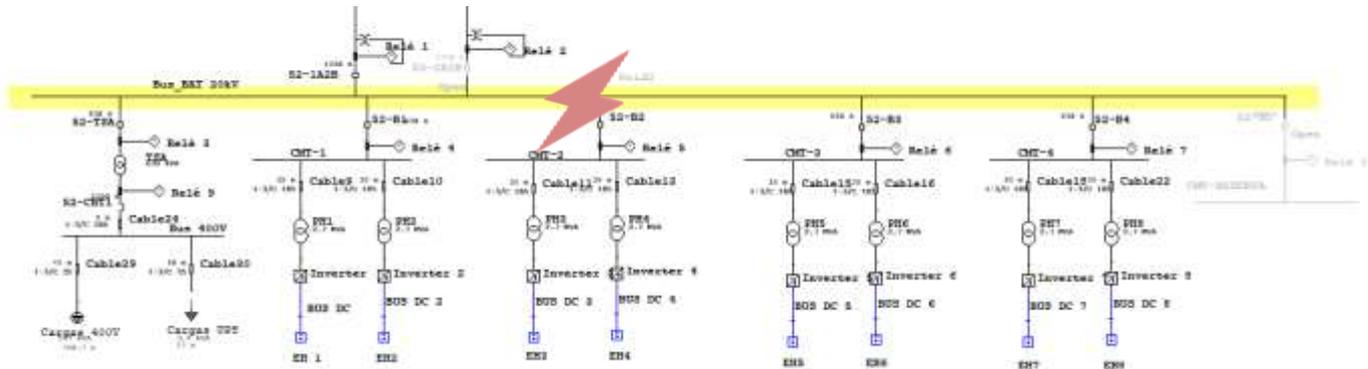


Figura 42. Detalle de la falta en el sistema BESS

Al producirse la falta en el la celda CMT-2, la protección de la cabina actuará por medio de la función de sobrecorriente de tiempo definido puesto que el cortocircuito que se produce será de 12,56 kA. Una vez abierto el relé 5, actuará el relé de cabecera mediante la función de tiempo inverso puesto que por el conductor pasarán 12,5 kA provenientes de la central térmica y la subestación eléctrica existente, con lo que el relé 1 pasará a posición de abierto. Por último, al existir cargas en BT que son en su mayoría máquinas de refrigeración con sus correspondientes motores, contribuirán al cortocircuito con 2,38 kA, debido a lo cual el relé 9 disparará la protección a través de la función 51 o de tiempo inverso. En la Figura 43 se observa la secuencia de actuación de los distintos relés implicados en la simulación con los valores de corriente a los que actúa.

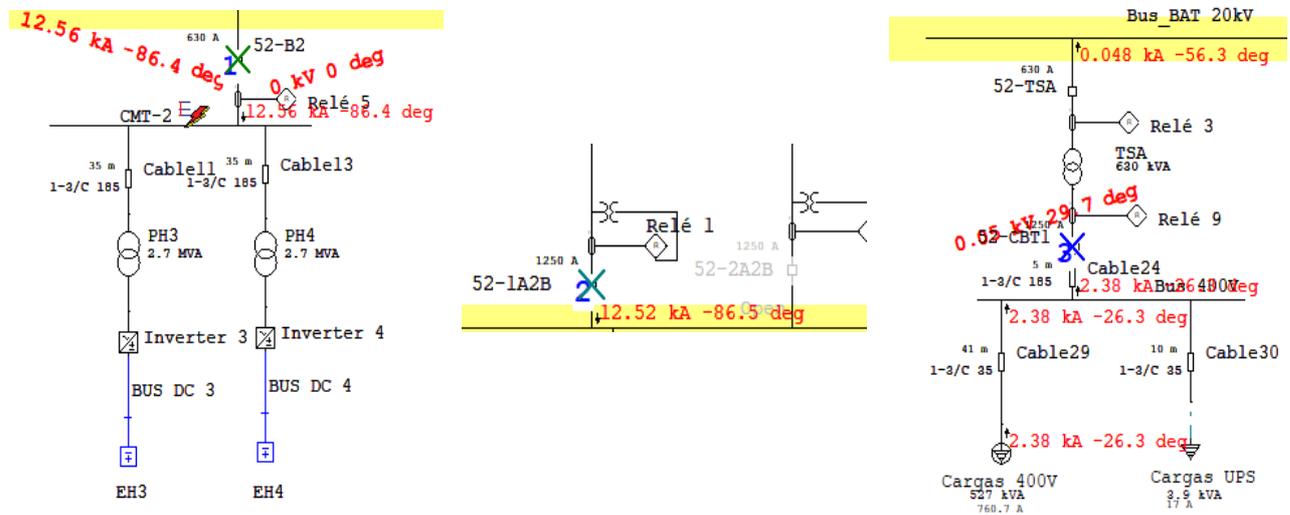


Figura 43. Secuencia de actuación de las protecciones ante una falta en el CMT-2

Para finalizar el ejemplo de la simulación de la falta, se adjunta el gráfico de la coordinación de las protecciones implicadas en la misma para el cortocircuito producido. En la Figura 44 se puede observar para cada relé, la intensidad y tiempo al que actúan.

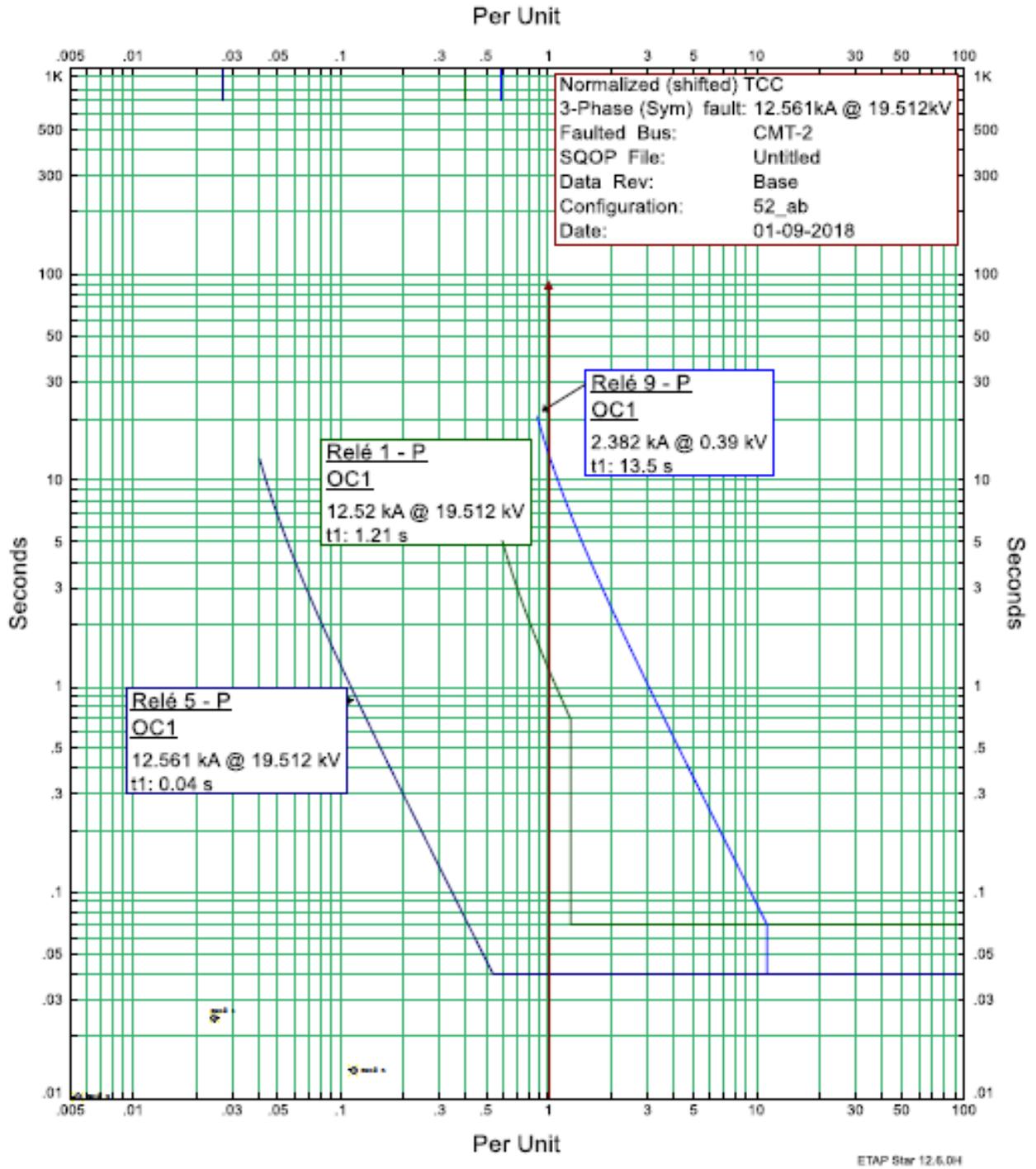


Figura 44. Coordinación de las protecciones para el cortocircuito en el CMT-2

# **ANEXO 1: CÁLCULO DE LAS INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO**

---

Project:	Central térmica	<b>ETAP</b>	Page:	1
Location:		12.6.0H	Date:	31-08-2018
Contract:			SN:	
Engineer:	Rafael Sánchez Hernández		Revision:	Base
Filename:	SISTEMA BESS 20 MW	Study Case: SC	Config.:	52_ab

Estudio de cortocircuito máximo para el escenario más desfavorable

### Electrical Transient Analyzer Program

#### Short-Circuit Analysis

#### IEC 60909 Standard

#### 3-Phase, LG, LL, & LLG Fault Currents

	Swing	V-Control	Load	Total			
Number of Buses:	2	2	46	50			
	XFMR2	XFMR3	Reactor	Line/Cable	Impedance	Tie PD	Total
Number of Branches:	17	4	0	24	0	8	53
	Synchronous Generator	Power Grid	Synchronous Motor	Induction Machines	Lumped Load	Total	
Number of Machines:	2	2	0	13	8	25	

System Frequency:	50.00 Hz
Unit System:	Metric
Project Filename:	SISTEMA BESS 20 MW
Output Filename:	C:\Users\pc\Desktop\ETAP TFM\SISTEMA BESS.SI2

Project: Central térmica  
Location:  
Contract:  
Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
12.6.0H

Study Case: SC

Page: 2  
Date: 31-08-2018  
SN:  
Revision: Base  
Config.: 52\_ab

---

Estudio de cortocircuito máximo para el escenario más desfavorable

---

### Adjustments

<u>Tolerance</u>	<u>Apply Adjustments</u>	<u>Individual /Global</u>	<u>Percent</u>
Transformer Impedance:	Yes	Global	7.5
Reactor Impedance:	No		
Overload Heater Resistance:	No		
Transmission Line Length:	No		
Cable Length:	Yes	Global	10.0

<u>Temperature Correction</u>	<u>Apply Adjustments</u>	<u>Individual /Global</u>	<u>Degree C</u>
Transmission Line Resistance:	Yes	Global	20
Cable Resistance:	Yes	Global	20

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 3  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito máximo para el escenario más desfavorable

### Bus Input Data

ID	Bus			Initial Voltage		
	Type	Nom. kV	Base kV	Sub-sys	%Mag.	Ang.
0A	Load	6.000	6.146	1	103.11	31.90
1-A1	Load	6.000	6.146	1	103.06	31.91
1-A2	Load	6.000	6.146	1	103.06	31.91
1-A3	Load	6.000	6.146	1	103.06	31.91
1-BFA	Gen.	20.000	19.512	1	100.00	34.93
2-A1	Load	6.000	6.146	1	103.11	31.94
2-A2	Load	6.000	6.146	1	103.11	31.94
2-A3	Load	6.000	6.146	1	103.11	31.94
2-A4	Load	10.500	10.244	1	98.88	63.92
2-A5	Load	10.500	10.244	1	98.88	63.92
2-BFA	Gen.	20.000	19.512	1	100.00	34.94
Bus1	Load	6.300	6.146	1	98.19	31.93
Bus2	Load	6.300	6.146	1	98.25	31.95
Bus3	Load	20.000	19.512	1	97.34	3.22
Bus4	Load	20.000	19.512	1	100.10	5.21
Bus5	Load	0.400	0.390	1	93.67	32.58
Bus22	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus23	Load	410.000	400.000	1	97.56	0.00
Bus24	Load	410.000	400.000	1	97.56	0.00
Bus25	Load	20.000	19.512	1	100.00	34.93
Bus28	Load	20.000	19.512	1	100.00	34.94
Bus29	Load	132.000	128.780	1	100.00	0.00
Bus30	Load	6.300	6.146	1	98.19	31.88
Bus31	Load	132.000	128.780	1	100.00	0.00
Bus32	Load	6.300	6.146	1	98.19	31.88
Bus35	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus36	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus37	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus38	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus39	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus40	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus43	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus44	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20
Bus45	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20
Bus46	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20

Project: Central térmica  
Location:  
Contract:  
Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
12.6.0H

Study Case: SC

Page: 4  
Date: 31-08-2018  
SN:  
Revision: Base  
Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito máximo para el escenario más desfavorable

ID	Bus				Initial Voltage	
	Type	Nom. kV	Base kV	Sub-sys	%Mag.	Ang.
Bus47	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20
Bus48	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20
Bus49	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20
Bus50	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20
Bus51	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20
Bus56	Load	0.400	0.390	1	86.46	34.90
Bus57	Load	0.400	0.390	1	93.41	32.57
Bus 400V	Load	0.400	0.390	1	93.43	32.57
Bus_BAT 20kV	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.21
CMT-1	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.21
CMT-2	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.21
CMT-3	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.21
CMT-4	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.21
SE_132kV	SWNG	132.000	128.780	1	100.00	0.00
SE_400kV	SWNG	400.000	400.000	1	100.00	0.00

50 Buses Total

All voltages reported by ETAP are in % of bus Nominal kV.  
Base kV values of buses are calculated and used internally by ETAP.

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 5  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito máximo para el escenario más desfavorable

### Line/Cable Input Data

#### Ohms or Siemens per 1000 m per Conductor (Cable) or per Phase (Line)

Line/Cable	ID	Library	Size	Length		#/Phase	T (°C)	R1	X1	Y1	R0	X0	Y0
				Adj. (m)	% Tol.								
Cable1		11NCUS1	400	45.0	-10.0	5	20	0.0501942	0.101	0.0001762	0.0798087	0.25654	
Cable3		6.6NALS1	400	45.0	-10.0	5	20	0.0795542	0.0999		0.1264912	0.253746	
Cable4		33NCUS1	300	270.0	-10.0	3	20	0.0627427	0.121	0.0000782	0.0997609	0.30734	
Cable9		33MCUS3	185	31.5	-10.0	1	20	0.1003883	0.114	0.0000682	0.3162231	0.28044	
Cable10		33MCUS3	185	31.5	-10.0	1	20	0.1003883	0.114	0.0000682	0.3162231	0.28044	
Cable11		33MCUS3	185	31.5	-10.0	1	20	0.1003883	0.114	0.0000682	0.3162231	0.28044	
Cable12		11MCUN1	400	72.0	-10.0	6	20	0.0501942	0.101	0.0001762	0.1568567	0.25	
Cable13		33MCUS3	185	31.5	-10.0	1	20	0.1003883	0.114	0.0000682	0.3162231	0.28044	
Cable14		11MCUN1	500	54.0	-10.0	7	20	0.0399985	0.1	0.0001945	0.1254854	0.25	
Cable15		33MCUS3	185	31.5	-10.0	1	20	0.1003883	0.114	0.0000682	0.3162231	0.28044	
Cable16		33MCUS3	185	31.5	-10.0	1	20	0.1003883	0.114	0.0000682	0.3162231	0.28044	
Cable17		33MCUS3	35	0.9	-10.0	1	20	0.5239014	0.15	0.0000415	1.650289	0.369	
Cable18		33MCUS3	185	31.5	-10.0	1	20	0.1003883	0.114	0.0000682	0.3162231	0.28044	
Cable19		33MCUS3	35	0.9	-10.0	1	20	0.5239014	0.15	0.0000415	1.650289	0.369	
Cable20		33MCUS1	240	0.9	-10.0	2	20	0.0768598	0.125	0.0000719	0.2421083	0.3075	
Cable21		33MCUS3	35	0.9	-10.0	1	20	0.5239014	0.15	0.0000415	1.650289	0.369	
Cable22		33MCUS3	185	31.5	-10.0	1	20	0.1003883	0.114	0.0000682	0.3162231	0.28044	
Cable24		33MCUS3	185	4.5	-10.0	1	20	0.1003883	0.114	0.0000682	0.3162231	0.28044	
Cable25		33MCUS3	35	0.9	-10.0	1	20	0.5239014	0.15	0.0000415	1.650289	0.369	
Cable26		33MCUS3	35	0.9	-10.0	1	20	0.5239014	0.15	0.0000415	1.650289	0.369	
Cable27		33MCUS3	35	0.9	-10.0	1	20	0.5239014	0.15	0.0000415	1.650289	0.369	
Cable28		33MCUS3	35	0.9	-10.0	1	20	0.5239014	0.15	0.0000415	1.650289	0.369	
Cable29		33MCUS3	35	36.9	-10.0	1	20	0.5239014	0.15	0.0000415	1.650289	0.369	
Cable30		33MCUS3	35	9.0	-10.0	1	20	0.5239014	0.15	0.0000415	1.650289	0.369	

Line / Cable resistances are listed at the specified temperatures.

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 6  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: S2\_ab

Estudio de cortocircuito máximo para el escenario más desfavorable

### 2-Winding Transformer Input Data

Transformer ID	Rating			Z Variation			% Tap Setting		Adjusted % Z	Phase Shift			
	MVA	Prim. kV	Sec. kV	% Z	X/R	+ 5%	- 5%	% Tol.		Prim.	Sec.	Type	Angle
1TAG1	30.000	20.000	6.300	9.37	17.55	0	0	-7.5	0	1.590	8.6673	Yyn	0.000
1TAG2	30.000	20.000	6.300	9.37	17.55	0	0	-7.5	0	1.590	8.6673	Yyn	0.000
1TPR	628.500	410.000	20.000	11.22	47.90	0	0	-7.5	0	0	10.3785	YNd	-30.000
2TAG1	38.000	20.000	6.300	10.36	24.60	0	0	-7.5	0	0	9.5830	Yyn	0.000
2TAG2	38.000	20.000	6.300	10.36	24.60	0	0	-7.5	0	0	9.5830	Yyn	0.000
2TAG4	24.000	20.000	10.500	6.31	16.51	0	0	-7.5	0	0	5.8367	Dyn	-30.000
2TAG5	24.000	20.000	10.500	6.31	16.51	0	0	-7.5	0	0	5.8367	Dyn	-30.000
2TPR	628.500	410.000	20.000	11.22	47.90	0	0	-7.5	0	0	10.3785	YNd	-30.000
PH1	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	-7.5	0	0	5.7998	Dyn	-30.000
PH2	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	-7.5	0	0	5.7998	Dyn	-30.000
PH3	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	-7.5	0	0	5.7998	Dyn	-30.000
PH4	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	-7.5	0	0	5.7998	Dyn	-30.000
PH5	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	-7.5	0	0	5.7998	Dyn	-30.000
PH6	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	-7.5	0	0	5.7998	Dyn	-30.000
PH7	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	-7.5	0	0	5.7998	Dyn	-30.000
PH8	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	-7.5	0	0	5.7998	Dyn	-30.000
TSA	0.630	20.000	0.400	5.00	1.50	0	0	-7.5	0	0	4.6250	Dyn	-30.000

### 2-Winding Transformer Grounding Input Data

Transformer ID	Rating			Grounding								
	MVA	Prim. kV	Sec. kV	Conn.		Primary			Secondary			
				Type	Type	kV	Amp	Ohm	Type	kV	Amp	Ohm
1TAG1	30.000	20.000	6.300	Y/Y	Open				XFMR-Resistor	kV1: 3.695	4.7	777.46390
										kV2: 0.120	144.1	0.82000
1TAG2	30.000	20.000	6.300	Y/Y	Open				XFMR-Resistor	kV1: 3.695	4.8	765.31600
										kV2: 0.120	146.3	0.80719
1TPR	628.500	410.000	20.000	Y/D	Solid							
2TAG1	38.000	20.000	6.300	Y/Y	Open				XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	732.95760
										kV2: 0.137	131.7	1.04000
2TAG2	38.000	20.000	6.300	Y/Y	Open				XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	732.95760
										kV2: 0.137	131.7	1.04000
2TAG4	24.000	20.000	10.500	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 6.062	5.0	1203.9430
										kV2: 0.139	219.6	0.63300

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H  
 Study Case: SC

Page: 7  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito máximo para el escenario más desfavorable

### 2-Winding Transformer Grounding Input Data

Transformer	Rating			Conn.		Primary				Secondary			
	ID	MVA	Prim. kV	Sec. kV	Type	Type	kV	Amp	Ohm	Type	kV	Amp	Ohm
2TAG5		24.000	20.000	10.500	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 6.062	5.0	1203.9430
											kV2: 0.139	219.6	0.63300
2TPR		628.500	410.000	20.000	Y/D	Solid							
PH1		2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
											kV2: 0.137	131.7	0.06603
PH2		2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
											kV2: 0.137	131.7	0.06603
PH3		2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
											kV2: 0.137	131.7	0.06603
PH4		2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
											kV2: 0.137	131.7	0.06603
PH5		2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
											kV2: 0.137	131.7	0.06603
PH6		2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
											kV2: 0.137	131.7	0.06603
PH7		2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
											kV2: 0.137	131.7	0.06603
PH8		2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
											kV2: 0.137	131.7	0.06603
TSA		0.630	20.000	0.400	D/Y					Solid			

### 3-Winding Transformer Input Data

Transformer	Winding	Rating		Tap		Impedance				Z Variation		Phase Shift	
		MVA	kV	%	% Z	X/R	MVA <sub>b</sub>	% Tol.	+ 5%	- 5%	Type	Angle	
0TAA-1	Primary:	360.000	410.000	-4.63	Z <sub>ps</sub> =	15.70	48.37	360.000	-7.5	0	0		
	Secondary:	360.000	132.000	0	Z <sub>pt</sub> =	134.40	375.00	360.000	-7.5			Special	0.000
	Tertiary:	36.000	6.300	3.17	Z <sub>st</sub> =	126.40	342.00	360.000	-7.5			Special	30.000
0TAA-2	Primary:	360.000	410.000	-4.63	Z <sub>ps</sub> =	15.70	48.37	360.000	-7.5	0	0		
	Secondary:	360.000	132.000	0	Z <sub>pt</sub> =	134.40	375.00	360.000	-7.5			Special	0.000
	Tertiary:	36.000	6.300	3.17	Z <sub>st</sub> =	126.40	342.00	360.000	-7.5			Special	30.000

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 8  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito máximo para el escenario más desfavorable

**3-Winding Transformer Input Data**

Transformer ID	Winding	Rating		Tap		Impedance				Z Variation		Phase Shift	
		MVA	kV	%	% Z	X/R	MVA <sub>B</sub>	% Tol.	+ 5%	- 5%	Type	Angle	
Nuevo_1TAG2	Primary:	52.000	20.000	0	Z <sub>ps</sub> = 17.00	27.44	52.000	-7.5	0	0			
	Secondary:	32.000	6.300	0	Z <sub>pt</sub> = 10.00	17.88	52.000	-7.5			Std Pos. Seq.	0.000	
	Tertiary:	20.000	20.000	0	Z <sub>st</sub> = 30.00	35.50	52.000	-7.5			Std Pos. Seq.	-30.000	
Nuevo_2TAG2	Primary:	52.000	20.000	0	Z <sub>ps</sub> = 17.00	27.44	52.000	-7.5	0	0			
	Secondary:	32.000	6.300	0	Z <sub>pt</sub> = 10.00	17.88	52.000	-7.5			Std Pos. Seq.	0.000	
	Tertiary:	20.000	20.000	0	Z <sub>st</sub> = 30.00	35.50	52.000	-7.5			Std Pos. Seq.	-30.000	

**3-Winding Transformer Grounding Input Data**

Transformer ID	Winding	Rating		Conn.		Grounding			
		MVA	kV	Type	Type	kV	Amp	Ohm	
0TAA-1	Primary:	360.000	410.000	Wye	Solid				
	Secondary:	360.000	132.000	Wye	Solid				
	Tertiary:	36.000	6.300	Delta					
0TAA-2	Primary:	360.000	410.000	Wye	Solid				
	Secondary:	360.000	132.000	Wye	Solid				
	Tertiary:	36.000	6.300	Delta					
Nuevo_1TAG2	Primary:	52.000	20.000	Wye	Open				
	Secondary:	32.000	6.300	Wye	XFMR-Resistor	kV1: 3.637	4.8	753.24800	
						kV2: 0.120	146.4	0.82000	
Nuevo_2TAG2	Primary:	52.000	20.000	Wye	Open				
	Secondary:	32.000	6.300	Wye	XFMR-Resistor	kV1: 3.637	4.8	753.24800	
						kV2: 0.120	0.0	0.82000	
	Tertiary:	20.000	20.000	Delta					

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 9  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito máximo para el escenario más desfavorable

### Branch Connections

CKT/Branch		Connected Bus ID		% Impedance, Pos. Seq., 100 MVAb			
ID	Type	From Bus	To Bus	R	X	Z	Y
1TAG1	2W XFMR	1-BFA	1-A1	1.72	30.10	30.15	
1TAG2	2W XFMR	1-BFA	1-A2	1.72	30.10	30.15	
1TPR	2W XFMR	SE_400kV	1-BFA	0.04	1.71	1.71	
2TAG1	2W XFMR	2-BFA	2-A1	1.06	26.16	26.18	
2TAG2	2W XFMR	2-BFA	2-A2	1.06	26.16	26.18	
2TAG4	2W XFMR	2-BFA	2-A4	1.56	25.75	25.80	
2TAG5	2W XFMR	2-BFA	2-A5	1.56	25.75	25.80	
2TPR	2W XFMR	SE_400kV	2-BFA	0.04	1.71	1.71	
PH1	2W XFMR	Bus44	Bus43	35.78	214.68	217.65	
PH2	2W XFMR	Bus45	Bus22	35.78	214.68	217.65	
PH3	2W XFMR	Bus46	Bus35	35.78	214.68	217.65	
PH4	2W XFMR	Bus47	Bus36	35.78	214.68	217.65	
PH5	2W XFMR	Bus48	Bus37	35.78	214.68	217.65	
PH6	2W XFMR	Bus49	Bus38	35.78	214.68	217.65	
PH7	2W XFMR	Bus50	Bus39	35.78	214.68	217.65	
PH8	2W XFMR	Bus51	Bus40	35.78	214.68	217.65	
TSA	2W XFMR	Bus_BAT 20kV	Bus5	417.13	625.70	752.00	
0TAA-1	3W Xfmr	Bus23	Bus29	0.09	4.17	4.17	
	3W Xfmr	Bus23	Bus30	-2.34	127.44	127.46	
	3W Xfmr	Bus29	Bus30	0.43	44.61	44.61	
0TAA-2	3W Xfmr	Bus24	Bus31	0.09	4.17	4.17	
	3W Xfmr	Bus24	Bus32	-2.34	127.44	127.46	
	3W Xfmr	Bus31	Bus32	0.43	44.61	44.61	
Nuevo_1TAG2	3W Xfmr	Bus25	Bus1	1.70	27.75	27.81	
	3W Xfmr	Bus25	Bus3	1.26	17.63	17.68	
	3W Xfmr	Bus1	Bus3	-60.60	-249.32	256.58	
Nuevo_2TAG2	3W Xfmr	Bus28	Bus2	1.70	27.75	27.81	
	3W Xfmr	Bus28	Bus4	1.26	17.63	17.68	
	3W Xfmr	Bus2	Bus4	-60.60	-249.32	256.58	
Cable1	Cable	Bus1	1-A2	0.12	0.24	0.27	0.0014977
Cable3	Cable	2-A2	Bus2	0.19	0.24	0.30	
Cable4	Cable	Bus3	Bus_BAT 20kV	0.15	0.29	0.32	0.0241159
Cable9	Cable	CMT-1	Bus44	0.08	0.09	0.13	0.0008179
Cable10	Cable	CMT-1	Bus45	0.08	0.09	0.13	0.0008179
Cable11	Cable	CMT-2	Bus46	0.08	0.09	0.13	0.0008179
Cable12	Cable	1-A3	0A	0.16	0.32	0.36	0.0028756
Cable13	Cable	CMT-2	Bus47	0.08	0.09	0.13	0.0008179

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 10  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito máximo para el escenario más desfavorable

CKT/Branch		Connected Bus ID		% Impedance, Pos. Seq., 100 MVAb			
ID	Type	From Bus	To Bus	R	X	Z	Y
Cable14	Cable	0A	2-A3	0.08	0.20	0.22	0.0027774
Cable15	Cable	CMT-3	Bus48	0.08	0.09	0.13	0.0008179
Cable16	Cable	CMT-3	Bus49	0.08	0.09	0.13	0.0008179
Cable17	Cable	SE_400kV	Bus23	0.00	0.00	0.00	0.0059760
Cable18	Cable	CMT-4	Bus50	0.08	0.09	0.13	0.0008179
Cable19	Cable	SE_400kV	Bus24	0.00	0.00	0.00	0.0059760
Cable20	Cable	1-BFA	Bus25	0.00	0.00	0.00	0.0000493
Cable21	Cable	2-BFA	Bus28	0.01	0.00	0.01	0.0000142
Cable22	Cable	CMT-4	Bus51	0.08	0.09	0.13	0.0008179
Cable24	Cable	Bus5	Bus 400V	29.66	33.69	44.88	0.0000000
Cable25	Cable	SE_132kV	Bus29	0.00	0.00	0.00	0.0006194
Cable26	Cable	Bus30	0A	0.12	0.04	0.13	0.0000014
Cable27	Cable	SE_132kV	Bus31	0.00	0.00	0.00	0.0006194
Cable28	Cable	Bus32	0A	0.12	0.04	0.13	0.0000014
Cable29	Cable	Bus 400V	Bus56	1269.42	363.45	1320.42	0.0000002
Cable30	Cable	Bus 400V	Bus57	309.61	88.65	322.05	0.0000001
52-B1	Tie Breakr	Bus_BAT 20kV	CMT-1				
52-B2	Tie Breakr	Bus_BAT 20kV	CMT-2				
52-B3	Tie Breakr	Bus_BAT 20kV	CMT-3				
52-B4	Tie Breakr	Bus_BAT 20kV	CMT-4				
CB108	Tie Breakr	1-A3	1-A1				
CB110	Tie Breakr	1-A2	1-A3				
CB131	Tie Breakr	2-A1	2-A3				
CB132	Tie Breakr	2-A3	2-A2				

## ANEXO 1: CÁLCULO DE LAS INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO

**ETAP**

Project:	Central térmica	Page:	11
Location:	12.6.0H	Date:	31-08-2018
Contract:		SN:	
Engineer:	Rafael Sánchez Hernández	Revision:	Base
Filename:	SISTEMA BESS 20 MW	Config.:	52_ab
	Study Case: SC		

Estudio de cortocircuito máximo para el escenario más desfavorable

**Power Grid Input Data**

Power Grid	Connected Bus	Rating		% Impedance 100 MVA Base			Grounding
		MVASC	kV	R	X"	R/X"	
Red_132kV	SE_132kV	3429.500	132.000	0.70720	2.82882	0.25	Wye - Solid
Red_400kV	SE_400kV	10600.000	400.000	0.10316	0.93774	0.11	Wye - Solid

Total Connected Power Grids (= 2): 14029.500 MVA

**Synchronous Generator Input Data**

Synchronous Generator		Rating				% Impedance in Machine Base					Grounding		Excitation	
ID	Type	MVA	kV	RPM	% PF	R	Xd"			Xd, sat	Conn.	Type	Amp	Type
							Adj.	Tol.	R/X					
G-1	Turbo	636.000	20.000	3000	90.00	0.237	18.00	0.0	0.01	232.00	Wye		5.00	Turbine 130%
G-2	Turbo	636.000	20.000	3000	90.00	0.237	18.00	0.0	0.01	232.00	Wye		5.00	Turbine 130%

Total Connected Synchronous Generators (= 2.00): 1.272.000 MVA

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 12  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito máximo para el escenario más desfavorable

### Induction Machine Input Data

Induction Machine			Connected Bus		Rating					PosSeqImp (Mtr Base)			Grounding			mFact.
ID	Type	Qty	ID		HP/kW	kVA	kV	Amp	PF	% R	% X"	R/X"	Conn.	Type	Amp	MW/PP
1-VTI_A	Motor	1	1-A1		5250.00	5957.14	6.000	573.23	93.17	1.40	15.32	0.09	Wye	Open		2.63
1-BAC_A	Motor	1	1-A1		2024.00	2318.28	6.000	223.08	92.78	1.82	15.28	0.12	Wye	Open		1.01
1-VTI_B	Motor	1	1-A2		5250.00	5957.14	6.000	573.23	93.17	1.40	15.32	0.09	Wye	Open		2.63
1-BAC_B	Motor	1	1-A2		2024.00	2318.28	6.600	202.80	92.78	1.82	15.28	0.12	Wye	Open		1.01
1-BC	Motor	1	1-A3		1200.00	1381.56	6.000	132.94	92.57	2.10	15.24	0.14	Wye	Open		0.60
VB_DES	Motor	1	1-A3		5770.00	6540.92	6.000	629.40	93.21	1.36	15.32	0.09	Wye	Open		2.89
2-BAC_A	Motor	1	2-A1		2250.00	2574.39	6.000	247.72	92.83	1.77	15.28	0.12	Wye	Open		1.13
2-VAP_A	Motor	1	2-A1		1739.00	1994.83	6.000	191.95	92.72	1.90	15.27	0.12	Wye	Open		0.87
2-BAC_B	Motor	1	2-A2		2250.00	2574.39	6.000	247.72	92.83	1.77	15.28	0.12	Wye	Open		1.13
2-VAP_B	Motor	1	2-A2		1739.00	1994.83	6.000	191.95	92.72	1.90	15.27	0.12	Wye	Open		0.87
2-BC	Motor	1	2-A3		1200.00	1381.56	6.000	132.94	92.57	2.10	15.24	0.14	Wye	Open		0.60
2-VTI-A	Motor	1	2-A4		8420.00	9833.69	10.000	567.75	88.00	3.93	19.65	0.20	Wye	Open		2.81
2-VTI-B	Motor	1	2-A5		8420.00	9833.69	10.000	567.75	88.00	3.93	19.65	0.20	Wye	Open		2.81

Total Connected Induction Machines (= 13 ): 54660.7 kVA

### Lumped Load Input Data

Lumped Load	Lumped Load						Motor Loads									
	ID	Rating			% Load		Loading		% Impedance Machine Base			Grounding			mFact.	
		kVA	kV	Amp	% PF	MTR	STAT	kW	kvar	R	X"	R/X"	Conn.	Type		Amp
Cargas 1A1	19000.0	6.000	1828.28	74.16	80	20	11272.36	10196.76	1.81	18.09	0.10	Delta				11.27
Cargas 1A2	19000.0	6.000	1828.28	74.16	80	20	11272.37	10196.75	1.81	18.09	0.10	Delta				11.27
Cargas 1A3	11000.0	6.000	1058.48	73.66	80	20	6482.06	5951.72	1.81	18.09	0.10	Delta				6.48
Cargas_2A1	14000.0	6.000	1347.15	70.00	80	20	7840.00	7998.40	1.81	18.09	0.10	Delta				7.84
Cargas_2A2	14000.0	6.000	1347.15	70.00	80	20	7840.00	7998.40	1.81	18.09	0.10	Delta				7.84
Cargas_2A3	13000.0	6.000	1250.93	70.39	80	20	7320.47	7387.20	1.81	18.09	0.10	Delta				7.32
Cargas 400V	527.0	0.400	760.66	74.16	80	20	312.66	282.83	7.04	16.76	0.42	Delta				0.31
Cargas_OA	7000.0	6.000	673.58	80.00	80	20	4480.00	3360.00	1.81	18.09	0.10	Delta				4.48

Total Connected Lumped Loads (= 8 ): 97527.0 kVA

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 13  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito máximo para el escenario más desfavorable

**SHORT-CIRCUIT REPORT**

Fault at bus: **Bus 400V**  
 Nominal kV = 0.400  
 Voltage c Factor = 1.10 (Maximum If)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	I30	R1	X1	R0	X0
Bus 400V	Total	0.00	23.541	0.00	102.57	105.00	21.852	21.852	3.90E+002	5.91E+002	5.11E+002	7.09E+002
Bus5	Bus 400V	5.51	20.484	8.85	101.56	102.13	19.960	21.852	4.48E+002	6.80E+002	5.11E+002	7.09E+002
Bus56	Bus 400V	24.20	3.058	14.98	102.11	112.16	1.892	0.000	3.02E+003	4.54E+003		
Bus57	Bus 400V	0.00	0.000	0.00	102.57	105.00	0.000	0.000				
Bus_BAT 20kV	Bus5	97.81	20.484	99.34	98.64	100.00	19.960	21.852 *	4.18E+002	6.46E+002	4.17E+002	6.26E+002
Cargas 400V	Bus56	100.00	3.058	100.00	100.00	100.00	1.892	0.000	1.76E+003	4.18E+003		
Bus3	Bus_BAT 20kV	97.85	0.410	99.36	98.66	100.00	0.220	0.000	3.99E+002	1.54E+002		
Bus50	CMT-4	97.81	0.000	99.34	98.64	100.00	0.000	0.000				
Bus51	CMT-4	97.81	0.000	99.34	98.64	100.00	0.000	0.000				
Bus48	CMT-3	97.81	0.000	99.34	98.64	100.00	0.000	0.000				
Bus49	CMT-3	97.81	0.000	99.34	98.64	100.00	0.000	0.000				
Bus46	CMT-2	97.81	0.000	99.34	98.64	100.00	0.000	0.000				
Bus47	CMT-2	97.81	0.000	99.34	98.64	100.00	0.000	0.000				
Bus44	CMT-1	97.81	0.000	99.34	98.64	100.00	0.000	0.000				
Bus45	CMT-1	97.81	0.000	99.34	98.64	100.00	0.000	0.000				
# Bus25	Bus3	99.86	0.441	99.92	99.96	100.00	0.236	0.000	3.68E+002	1.47E+002		
# Bus1	Bus3	99.97	0.032	99.98	99.99	100.00	0.017	0.000	4.66E+003	2.86E+003		
Bus39	Bus50	97.81	0.000	98.65	99.32	100.01	0.000	0.000				
Bus40	Bus51	97.81	0.000	98.65	99.32	100.01	0.000	0.000				
Bus37	Bus48	97.81	0.000	98.65	99.32	100.01	0.000	0.000				
Bus38	Bus49	97.81	0.000	98.65	99.32	100.01	0.000	0.000				
Bus35	Bus46	97.81	0.000	98.65	99.32	100.01	0.000	0.000				
Bus36	Bus47	97.81	0.000	98.65	99.32	100.01	0.000	0.000				
Bus43	Bus44	97.81	0.000	98.65	99.32	100.01	0.000	0.000				
Bus22	Bus45	97.81	0.000	98.65	99.32	100.01	0.000	0.000				
1-BFA	Bus25	99.86	0.426	99.92	99.96	100.00	0.264	0.000	4.75E-002	1.27E+000		
# Bus1	Bus25	99.97	0.015	99.98	99.99	100.00	0.009	0.000	3.94E+000	3.56E+001		

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 14  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito máximo para el escenario más desfavorable

(Cont.)

Fault at bus: **Bus 400V**  
 Nominal kV = 0.400  
 Voltage c Factor = 1.10 (Maximum If)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	3I0	R1	X1	R0	X0
1-A2	Bus1	104.96	0.054	104.98	104.99	105.00	0.034	0.000	3.25E+000	6.43E+000		

	3-Phase	L-G	L-L	L-L-G
Initial Symmetrical Current (kA, rms)	23.541	21.852	20.387	23.058
Peak Current (kA), Method C	38.461	35.702	33.308	37.672
Breaking Current (kA, rms, symm)		21.852	20.387	23.058
Steady State Current (kA, rms)	20.483	21.852	20.387	23.058

# Indicates a fault current contribution from a three-winding transformer

\* Indicates a zero sequence fault current contribution (3I0) from a grounded Delta-Y transformer

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 15  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito máximo para el escenario más desfavorable

Fault at bus: **Bus\_BAT 20kV**  
 Nominal kV = 20.000  
 Voltage c Factor = 1.10 (Maximum If)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	3I0	R1	X1	R0	X0
Bus_BAT 20kV	Total	0.00	16.203	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000	1.32E+000	2.05E+001		
Bus3	Bus_BAT 20kV	1.56	16.157	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000	1.29E+000	2.06E+001		
Bus5	Bus_BAT 20kV	12.03	0.053	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	3.47E+003	5.20E+003		
Bus50	CMT-4	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
Bus51	CMT-4	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
Bus48	CMT-3	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
Bus49	CMT-3	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
Bus46	CMT-2	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
Bus47	CMT-2	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
Bus44	CMT-1	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
Bus45	CMT-1	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
# Bus25	Bus3	93.62	17.400	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.31E+000	1.89E+001		
# Bus1	Bus3	98.56	1.263	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	6.20E+001	2.53E+002		
Bus 400V	Bus5	12.74	2.668	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	5.19E+003	2.14E+003		
Bus39	Bus50	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
Bus40	Bus51	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
Bus37	Bus48	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
Bus38	Bus49	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
Bus35	Bus46	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
Bus36	Bus47	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
Bus43	Bus44	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
Bus22	Bus45	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
1-BFA	Bus25	93.63	16.806	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	9.75E+000	2.11E+000		
# Bus1	Bus25	98.56	0.595	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	2.70E+002	7.95E+001		
1-A2	Bus1	103.43	2.139	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	2.15E+002	1.38E+002		
Bus56	Bus 400V	31.96	2.668	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	5.16E+003	2.11E+003		
Bus57	Bus 400V	12.74	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
1-A1	1-BFA	103.43	0.542	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	2.97E+002	8.70E+001		
1-A2	1-BFA	103.43	0.542	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	2.97E+002	8.70E+001		
SE_400kV	1-BFA	100.52	8.711	102.50	102.50	102.50	0.000	0.000	1.88E+001	4.27E+000		

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 16  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito máximo para el escenario más desfavorable

(Cont.)

Fault at bus: **Bus\_BAT 20kV**  
 Nominal kV = 20.000  
 Voltage c Factor = 1.10 (Maximum If)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	3I0	R1	X1	R0	X0
G-1	1-BFA	100.00	7.017	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	4.00E-002	3.03E+000	1.82E+005	2.44E+000
1-VTI_B	1-A2	105.00	0.065	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	2.23E+001	2.45E+002		
1-BAC_B	1-A2	95.45	0.021	95.45	95.45	95.45	0.000	0.000	9.04E+001	7.60E+002		
Cargas 1A2	1-A2	105.00	0.140	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.13E+001	1.13E+002		
0A	1-A3	103.45	0.786	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	6.95E+002	5.27E+000		
1-BC	1-A3	105.00	0.015	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.45E+002	1.05E+003		
VB_DES	1-A3	105.00	0.071	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.98E+001	2.23E+002		
Cargas 1A3	1-A3	105.00	0.081	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.96E+001	1.96E+002		
Cargas 400V	Bus56	100.00	2.668	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.76E+003	4.18E+003		
1-VTI_A	1-A1	105.00	0.065	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	2.23E+001	2.45E+002		
1-BAC_A	1-A1	105.00	0.025	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	7.47E+001	6.28E+002		
Cargas 1A1	1-A1	105.00	0.140	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.13E+001	1.13E+002		
Bus23	SE_400kV	98.07	0.029	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.84E+000	1.07E+001		
Bus24	SE_400kV	98.07	0.029	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.84E+000	1.07E+001		
2-BFA	SE_400kV	98.75	0.065	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.91E-001	4.83E+000		
Red_400kV	SE_400kV	102.50	0.302	102.50	102.50	102.50	0.000	0.000	1.13E-001	1.03E+000	1.08E+000	9.77E+000
2-A3	0A	103.46	0.676	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	8.08E+002	1.46E+001		
Bus30	0A	98.53	0.033	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.48E+004	6.98E+003		
Bus32	0A	98.53	0.033	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.48E+004	6.98E+003		
Cargas_OA	0A	105.00	0.051	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	3.08E+001	3.08E+002		

	3-Phase	L-G	L-L	L-L-G
Initial Symmetrical Current (kA, rms)	16.203	0.000	14.032	14.032
Peak Current (kA), Method C	41.787	0.000	36.189	36.189
Breaking Current (kA, rms, symm)		0.000	14.032	14.032
Steady State Current (kA, rms)	16.150	0.000	14.032	14.032

# Indicates a fault current contribution from a three-winding transformer

\* Indicates a zero sequence fault current contribution (3I0) from a grounded Delta-Y transformer

Project:	Central térmica	<b>ETAP</b>	Page:	17
Location:		12.6.0H	Date:	31-08-2018
Contract:			SN:	
Engineer:	Rafael Sánchez Hernández		Revision:	Base
Filename:	SISTEMA BESS 20 MW	Study Case: SC	Config.:	52_ab

Estudio de cortocircuito máximo para el escenario más desfavorable

### Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
ID	kV	I <sup>"k</sup>	ip	Ik	I <sup>"k</sup>	ip	Ib	Ik	I <sup>"k</sup>	ip	Ib	Ik	I <sup>"k</sup>	ip	Ib	Ik
Bus 400V	0.400	23.541	38.461	20.483	21.852	35.702	21.852	21.852	20.387	33.308	20.387	20.387	23.058	37.672	23.058	23.058
Bus_BAT 20kV	20.000	16.203	41.787	16.150	0.000	0.000	0.000	0.000	14.032	36.189	14.032	14.032	14.032	36.189	14.032	14.032

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

\* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
**12.6.0H**

Study Case: SC

Page: 18  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito máximo para el escenario más desfavorable

**Sequence Impedance Summary Report**  
**Electrical Transient Analyzer Program**

Bus		Positive Seq. Imp. (ohm)			Negative Seq. Imp. (ohm)			Zero Seq. Imp. (ohm)			Fault Zf (ohm)		
ID	kV	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance
Bus 400V	0.400	0.00594	0.00901	0.01079	0.00594	0.00901	0.01079	0.00778	0.01079	0.01330	0.00000	0.00000	0.00000
Bus_BAT 20kV	20.000	0.05028	0.78230	0.78392	0.05028	0.78230	0.78391				0.00000	0.00000	0.00000

**Short-Circuit Analysis**

**IEC 60909 Standard**

**3-Phase, LG, LL, & LLG Fault Currents**

	Swing	V-Control	Load	Total						
Number of Buses:	2	2	46	50						
	XFMR2	XFMR3	Reactor	Line/Cable	Impedance	Tie PD	Total			
Number of Branches:	17	4	0	24	0	8	53			
	Synchronous Generator	Power Grid	Synchronous Motor	Induction Machines	Lumped Load	Total				
Number of Machines:	2	2	0	13	8	25				

System Frequency: 50.00 Hz  
 Unit System: Metric  
 Project Filename: SISTEMA BESS 20 MW  
 Output Filename: C:\Users\pc\Desktop\ETAP TFM\SISTEMA BESS.SI2

Project:	Central térmica	<b>ETAP</b>	Page:	2
Location:		12.6.0H	Date:	31-08-2018
Contract:			SN:	
Engineer:	Rafael Sánchez Hernández	Study Case: SC	Revision:	Base
Filename:	SISTEMA BESS 20 MW		Config.:	52_ab

Estudio de cortocircuito mínimo para el escenario más desfavorable

### Adjustments

Tolerance	Apply Adjustments	Individual /Global	Percent
Transformer Impedance:	Yes	Global	7.5
Reactor Impedance:	No		
Overload Heater Resistance:	No		
Transmission Line Length:	No		
Cable Length:	Yes	Global	10.0

Temperature Correction	Apply Adjustments	Individual /Global	Degree C
Transmission Line Resistance:	Yes	Global	0
Cable Resistance:	Yes	Global	0

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 3  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito mínimo para el escenario más desfavorable

**Bus Input Data**

ID	Bus			Initial Voltage		
	Type	Nom. kV	Base kV	Sub-sys	%Mag.	Ang.
0A	Load	6.000	6.146	1	103.11	31.90
1-A1	Load	6.000	6.146	1	103.06	31.91
1-A2	Load	6.000	6.146	1	103.06	31.91
1-A3	Load	6.000	6.146	1	103.06	31.91
1-BFA	Gen.	20.000	19.512	1	100.00	34.93
2-A1	Load	6.000	6.146	1	103.11	31.94
2-A2	Load	6.000	6.146	1	103.11	31.94
2-A3	Load	6.000	6.146	1	103.11	31.94
2-A4	Load	10.500	10.244	1	98.88	63.92
2-A5	Load	10.500	10.244	1	98.88	63.92
2-BFA	Gen.	20.000	19.512	1	100.00	34.94
Bus1	Load	6.300	6.146	1	98.19	31.93
Bus2	Load	6.300	6.146	1	98.25	31.95
Bus3	Load	20.000	19.512	1	97.34	3.22
Bus4	Load	20.000	19.512	1	100.10	5.21
Bus5	Load	0.400	0.390	1	93.67	32.58
Bus22	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus23	Load	410.000	400.000	1	97.56	0.00
Bus24	Load	410.000	400.000	1	97.56	0.00
Bus25	Load	20.000	19.512	1	100.00	34.93
Bus28	Load	20.000	19.512	1	100.00	34.94
Bus29	Load	132.000	128.780	1	100.00	0.00
Bus30	Load	6.300	6.146	1	98.19	31.88
Bus31	Load	132.000	128.780	1	100.00	0.00
Bus32	Load	6.300	6.146	1	98.19	31.88
Bus35	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus36	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus37	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus38	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus39	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus40	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus43	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus44	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20
Bus45	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20
Bus46	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 4  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito mínimo para el escenario más desfavorable

ID	Bus			Sub-sys	Initial Voltage	
	Type	Nom. kV	Base kV		%Mag.	Ang.
Bus47	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20
Bus48	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20
Bus49	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20
Bus50	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20
Bus51	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20
Bus56	Load	0.400	0.390	1	86.46	34.90
Bus57	Load	0.400	0.390	1	93.41	32.57
Bus 400V	Load	0.400	0.390	1	93.43	32.57
Bus_BAT 20kV	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.21
CMT-1	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.21
CMT-2	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.21
CMT-3	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.21
CMT-4	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.21
SE_132kV	SWNG	132.000	128.780	1	100.00	0.00
SE_400kV	SWNG	400.000	400.000	1	100.00	0.00

50 Buses Total

All voltages reported by ETAP are in % of bus Nominal kV.  
 Base kV values of buses are calculated and used internally by ETAP.

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 5  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito mínimo para el escenario más desfavorable

**Line/Cable Input Data**

**Ohms or Siemens per 1000 m per Conductor (Cable) or per Phase (Line)**

Line/Cable	Library	Size	Length		#/Phase	T (°C)	R1	X1	Y1	R0	X0	Y0
			Adj. (m)	% Tol.								
Cable1	11NCUS1	400	55.0	10.0	5	0	0.0462496	0.101	0.0001762	0.0735369	0.25654	
Cable3	6.6NALS1	400	55.0	10.0	5	0	0.0731412	0.0999		0.1162944	0.253746	
Cable4	33NCUS1	300	330.0	10.0	3	0	0.057812	0.121	0.0000782	0.0919211	0.30734	
Cable9	33MCUS3	185	38.5	10.0	1	0	0.0924992	0.114	0.0000682	0.2913726	0.28044	
Cable10	33MCUS3	185	38.5	10.0	1	0	0.0924992	0.114	0.0000682	0.2913726	0.28044	
Cable11	33MCUS3	185	38.5	10.0	1	0	0.0924992	0.114	0.0000682	0.2913726	0.28044	
Cable12	11MCUN1	400	88.0	10.0	6	0	0.0462496	0.101	0.0001762	0.14453	0.25	
Cable13	33MCUS3	185	38.5	10.0	1	0	0.0924992	0.114	0.0000682	0.2913726	0.28044	
Cable14	11MCUN1	500	66.0	10.0	7	0	0.0368552	0.1	0.0001945	0.115624	0.25	
Cable15	33MCUS3	185	38.5	10.0	1	0	0.0924992	0.114	0.0000682	0.2913726	0.28044	
Cable16	33MCUS3	185	38.5	10.0	1	0	0.0924992	0.114	0.0000682	0.2913726	0.28044	
Cable17	33MCUS3	35	1.1	10.0	1	0	0.4827303	0.15	0.0000415	1.520601	0.369	
Cable18	33MCUS3	185	38.5	10.0	1	0	0.0924992	0.114	0.0000682	0.2913726	0.28044	
Cable19	33MCUS3	35	1.1	10.0	1	0	0.4827303	0.15	0.0000415	1.520601	0.369	
Cable20	33MCUS1	240	1.1	10.0	2	0	0.0708197	0.125	0.0000719	0.2230821	0.3075	
Cable21	33MCUS3	35	1.1	10.0	1	0	0.4827303	0.15	0.0000415	1.520601	0.369	
Cable22	33MCUS3	185	38.5	10.0	1	0	0.0924992	0.114	0.0000682	0.2913726	0.28044	
Cable24	33MCUS3	185	5.5	10.0	1	0	0.0924992	0.114	0.0000682	0.2913726	0.28044	
Cable25	33MCUS3	35	1.1	10.0	1	0	0.4827303	0.15	0.0000415	1.520601	0.369	
Cable26	33MCUS3	35	1.1	10.0	1	0	0.4827303	0.15	0.0000415	1.520601	0.369	
Cable27	33MCUS3	35	1.1	10.0	1	0	0.4827303	0.15	0.0000415	1.520601	0.369	
Cable28	33MCUS3	35	1.1	10.0	1	0	0.4827303	0.15	0.0000415	1.520601	0.369	
Cable29	33MCUS3	35	45.1	10.0	1	0	0.4827303	0.15	0.0000415	1.520601	0.369	
Cable30	33MCUS3	35	11.0	10.0	1	0	0.4827303	0.15	0.0000415	1.520601	0.369	

Line / Cable resistances are listed at the specified temperatures.

Project:	Central térmica	<b>ETAP</b>	Page:	6
Location:		12.6.0H	Date:	31-08-2018
Contract:			SN:	
Engineer:	Rafael Sánchez Hernández	Study Case: SC	Revision:	Base
Filename:	SISTEMA BESS 20 MW		Config.:	S2_ab

Estudio de cortocircuito mínimo para el escenario más desfavorable

### 2-Winding Transformer Input Data

Transformer ID	Rating		Z Variation			% Tap Setting		Adjusted	Phase Shift				
	MVA	Prim. kV	Sec. kV	% Z	X/R	+ 5%	- 5%	% Tol.	Prim.	Sec.	% Z	Type	Angle
1TAG1	30.000	20.000	6.300	9.37	17.55	0	0	7.5	0	1.590	10.0727	Yyn	0.000
1TAG2	30.000	20.000	6.300	9.37	17.55	0	0	7.5	0	1.590	10.0727	Yyn	0.000
1TPR	628.500	410.000	20.000	11.22	47.90	0	0	7.5	0	0	12.0615	YNd	-30.000
2TAG1	38.000	20.000	6.300	10.36	24.60	0	0	7.5	0	0	11.1370	Yyn	0.000
2TAG2	38.000	20.000	6.300	10.36	24.60	0	0	7.5	0	0	11.1370	Yyn	0.000
2TAG4	24.000	20.000	10.500	6.31	16.51	0	0	7.5	0	0	6.7833	Dyn	-30.000
2TAG5	24.000	20.000	10.500	6.31	16.51	0	0	7.5	0	0	6.7833	Dyn	-30.000
2TPR	628.500	410.000	20.000	11.22	47.90	0	0	7.5	0	0	12.0615	YNd	-30.000
PH1	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	7.5	0	0	6.7402	Dyn	-30.000
PH2	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	7.5	0	0	6.7402	Dyn	-30.000
PH3	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	7.5	0	0	6.7402	Dyn	-30.000
PH4	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	7.5	0	0	6.7402	Dyn	-30.000
PH5	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	7.5	0	0	6.7402	Dyn	-30.000
PH6	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	7.5	0	0	6.7402	Dyn	-30.000
PH7	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	7.5	0	0	6.7402	Dyn	-30.000
PH8	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	7.5	0	0	6.7402	Dyn	-30.000
TSA	0.630	20.000	0.400	5.00	1.50	0	0	7.5	0	0	5.3750	Dyn	-30.000

### 2-Winding Transformer Grounding Input Data

Transformer ID	Rating		Grounding									
	MVA	Prim. kV	Sec. kV	Conn.		Primary			Secondary			
				Type	Type	kV	Amp	Ohm	Type	kV	Amp	Ohm
1TAG1	30.000	20.000	6.300	Y/Y	Open				XFMR-Resistor	kV1: 3.695	4.7	777.46390
										kV2: 0.120	144.1	0.82000
1TAG2	30.000	20.000	6.300	Y/Y	Open				XFMR-Resistor	kV1: 3.695	4.8	765.31600
										kV2: 0.120	146.3	0.80719
1TPR	628.500	410.000	20.000	Y/D	Solid							
2TAG1	38.000	20.000	6.300	Y/Y	Open				XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	732.95760
										kV2: 0.137	131.7	1.04000
2TAG2	38.000	20.000	6.300	Y/Y	Open				XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	732.95760
										kV2: 0.137	131.7	1.04000
2TAG4	24.000	20.000	10.500	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 6.062	5.0	1203.9430
										kV2: 0.139	219.6	0.63300

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 7  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito mínimo para el escenario más desfavorable

### 2-Winding Transformer Grounding Input Data

Transformer	Rating			Conn.		Primary				Secondary			
	ID	MVA	Prim. kV	Sec. kV	Type	Type	kV	Amp	Ohm	Type	kV	Amp	Ohm
2TAG5		24.000	20.000	10.500	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 6.062	5.0	1203.9430
											kV2: 0.139	219.6	0.63300
2TPR		628.500	410.000	20.000	Y/D	Solid							
PH1		2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
											kV2: 0.137	131.7	0.06603
PH2		2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
											kV2: 0.137	131.7	0.06603
PH3		2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
											kV2: 0.137	131.7	0.06603
PH4		2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
											kV2: 0.137	131.7	0.06603
PH5		2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
											kV2: 0.137	131.7	0.06603
PH6		2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
											kV2: 0.137	131.7	0.06603
PH7		2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
											kV2: 0.137	131.7	0.06603
PH8		2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
											kV2: 0.137	131.7	0.06603
TSA		0.630	20.000	0.400	D/Y					Solid			

### 3-Winding Transformer Input Data

Transformer	Winding	Rating		Tap		Impedance				Z Variation		Phase Shift	
		MVA	kV	%	% Z	X/R	MVA <sub>b</sub>	% Tol.	+ 5%	- 5%	Type	Angle	
0TAA-1	Primary:	360.000	410.000	-4.63	Z <sub>ps</sub> =	15.70	48.37	360.000	7.5	0	0		
	Secondary:	360.000	132.000	0	Z <sub>pt</sub> =	134.40	375.00	360.000	7.5			Special	0.000
	Tertiary:	36.000	6.300	3.17	Z <sub>st</sub> =	126.40	342.00	360.000	7.5			Special	30.000
0TAA-2	Primary:	360.000	410.000	-4.63	Z <sub>ps</sub> =	15.70	48.37	360.000	7.5	0	0		
	Secondary:	360.000	132.000	0	Z <sub>pt</sub> =	134.40	375.00	360.000	7.5			Special	0.000
	Tertiary:	36.000	6.300	3.17	Z <sub>st</sub> =	126.40	342.00	360.000	7.5			Special	30.000

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 8  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito mínimo para el escenario más desfavorable

### 3-Winding Transformer Input Data

Transformer ID	Winding	Rating		Tap		Impedance				Z Variation		Phase Shift	
		MVA	kV	%	% Z	X/R	MVA <sub>b</sub>	% Tol.	+ 5%	- 5%	Type	Angle	
Nuevo_1TAG2	Primary:	52.000	20.000	0	Z <sub>ps</sub> = 17.00	27.44	52.000	7.5	0	0			
	Secondary:	32.000	6.300	0	Z <sub>pt</sub> = 10.00	17.88	52.000	7.5			Std Pos. Seq.	0.000	
	Tertiary:	20.000	20.000	0	Z <sub>st</sub> = 30.00	35.50	52.000	7.5			Std Pos. Seq.	-30.000	
Nuevo_2TAG2	Primary:	52.000	20.000	0	Z <sub>ps</sub> = 17.00	27.44	52.000	7.5	0	0			
	Secondary:	32.000	6.300	0	Z <sub>pt</sub> = 10.00	17.88	52.000	7.5			Std Pos. Seq.	0.000	
	Tertiary:	20.000	20.000	0	Z <sub>st</sub> = 30.00	35.50	52.000	7.5			Std Pos. Seq.	-30.000	

### 3-Winding Transformer Grounding Input Data

Transformer ID	Winding	Rating		Conn.		Grounding			
		MVA	kV	Type	Type	kV	Amp	Ohm	
0TAA-1	Primary:	360.000	410.000	Wye	Solid				
	Secondary:	360.000	132.000	Wye	Solid				
	Tertiary:	36.000	6.300	Delta					
0TAA-2	Primary:	360.000	410.000	Wye	Solid				
	Secondary:	360.000	132.000	Wye	Solid				
	Tertiary:	36.000	6.300	Delta					
Nuevo_1TAG2	Primary:	52.000	20.000	Wye	Open				
	Secondary:	32.000	6.300	Wye	XFMR-Resistor	kV1: 3.637	4.8	753.24800	
						kV2: 0.120	146.4	0.82000	
Nuevo_2TAG2	Primary:	52.000	20.000	Wye	Open				
	Secondary:	32.000	6.300	Wye	XFMR-Resistor	kV1: 3.637	4.8	753.24800	
						kV2: 0.120	0.0	0.82000	
	Tertiary:	20.000	20.000	Delta					

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 9  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito mínimo para el escenario más desfavorable

**Branch Connections**

CKT/Branch		Connected Bus ID		% Impedance, Pos. Seq., 100 MVAb			
ID	Type	From Bus	To Bus	R	X	Z	Y
1TAG1	2W XFMR	1-BFA	1-A1	1.98	34.71	34.77	
1TAG2	2W XFMR	1-BFA	1-A2	1.98	34.71	34.77	
1TPR	2W XFMR	SE_400kV	1-BFA	0.04	1.96	1.96	
2TAG1	2W XFMR	2-BFA	2-A1	1.23	30.14	30.16	
2TAG2	2W XFMR	2-BFA	2-A2	1.23	30.14	30.16	
2TAG4	2W XFMR	2-BFA	2-A4	1.80	29.76	29.82	
2TAG5	2W XFMR	2-BFA	2-A5	1.80	29.76	29.82	
2TPR	2W XFMR	SE_400kV	2-BFA	0.04	1.96	1.96	
PH1	2W XFMR	Bus44	Bus43	41.36	248.16	251.59	
PH2	2W XFMR	Bus45	Bus22	41.36	248.16	251.59	
PH3	2W XFMR	Bus46	Bus35	41.36	248.16	251.59	
PH4	2W XFMR	Bus47	Bus36	41.36	248.16	251.59	
PH5	2W XFMR	Bus48	Bus37	41.36	248.16	251.59	
PH6	2W XFMR	Bus49	Bus38	41.36	248.16	251.59	
PH7	2W XFMR	Bus50	Bus39	41.36	248.16	251.59	
PH8	2W XFMR	Bus51	Bus40	41.36	248.16	251.59	
TSA	2W XFMR	Bus_BAT 20kV	Bus5	483.01	724.52	870.76	
0TAA-1	3W Xfmr	Bus23	Bus29	0.10	4.79	4.79	
	3W Xfmr	Bus23	Bus30	-2.62	145.34	145.37	
	3W Xfmr	Bus29	Bus30	0.50	51.44	51.44	
0TAA-2	3W Xfmr	Bus24	Bus31	0.10	4.79	4.79	
	3W Xfmr	Bus24	Bus32	-2.62	145.34	145.37	
	3W Xfmr	Bus31	Bus32	0.50	51.44	51.44	
Nuevo_1TAG2	3W Xfmr	Bus25	Bus1	1.96	32.12	32.18	
	3W Xfmr	Bus25	Bus3	1.46	20.48	20.53	
	3W Xfmr	Bus1	Bus3	-74.44	-298.09	307.25	
Nuevo_2TAG2	3W Xfmr	Bus28	Bus2	1.96	32.12	32.18	
	3W Xfmr	Bus28	Bus4	1.46	20.48	20.53	
	3W Xfmr	Bus2	Bus4	-74.44	-298.09	307.25	
Cable1	Cable	Bus1	1-A2	0.13	0.29	0.32	0.0018305
Cable3	Cable	2-A2	Bus2	0.21	0.29	0.36	
Cable4	Cable	Bus3	Bus_BAT 20kV	0.17	0.35	0.39	0.0294750
Cable9	Cable	CMT-1	Bus44	0.09	0.12	0.15	0.0009997
Cable10	Cable	CMT-1	Bus45	0.09	0.12	0.15	0.0009997
Cable11	Cable	CMT-2	Bus46	0.09	0.12	0.15	0.0009997
Cable12	Cable	1-A3	0A	0.18	0.39	0.43	0.0035146
Cable13	Cable	CMT-2	Bus47	0.09	0.12	0.15	0.0009997

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 10  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito mínimo para el escenario más desfavorable

CKT/Branch		Connected Bus ID		% Impedance, Pos. Seq., 100 MVAb			
ID	Type	From Bus	To Bus	R	X	Z	Y
Cable14	Cable	0A	2-A3	0.09	0.25	0.27	0.0033947
Cable15	Cable	CMT-3	Bus48	0.09	0.12	0.15	0.0009997
Cable16	Cable	CMT-3	Bus49	0.09	0.12	0.15	0.0009997
Cable17	Cable	SE_400kV	Bus23	0.00	0.00	0.00	0.0073040
Cable18	Cable	CMT-4	Bus50	0.09	0.12	0.15	0.0009997
Cable19	Cable	SE_400kV	Bus24	0.00	0.00	0.00	0.0073040
Cable20	Cable	1-BFA	Bus25	0.00	0.00	0.00	0.0000602
Cable21	Cable	2-BFA	Bus28	0.01	0.00	0.01	0.0000174
Cable22	Cable	CMT-4	Bus51	0.09	0.12	0.15	0.0009997
Cable24	Cable	Bus5	Bus 400V	33.41	41.17	53.02	0.0000001
Cable25	Cable	SE_132kV	Bus29	0.00	0.00	0.00	0.0007571
Cable26	Cable	Bus30	0A	0.14	0.04	0.15	0.0000017
Cable27	Cable	SE_132kV	Bus31	0.00	0.00	0.00	0.0007571
Cable28	Cable	Bus32	0A	0.14	0.04	0.15	0.0000017
Cable29	Cable	Bus 400V	Bus56	1429.58	444.22	1497.01	0.0000003
Cable30	Cable	Bus 400V	Bus57	348.68	108.35	365.12	0.0000001
52-B1	Tie Breakr	Bus_BAT 20kV	CMT-1				
52-B2	Tie Breakr	Bus_BAT 20kV	CMT-2				
52-B3	Tie Breakr	Bus_BAT 20kV	CMT-3				
52-B4	Tie Breakr	Bus_BAT 20kV	CMT-4				
CB108	Tie Breakr	1-A3	1-A1				
CB110	Tie Breakr	1-A2	1-A3				
CB131	Tie Breakr	2-A1	2-A3				
CB132	Tie Breakr	2-A3	2-A2				

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 11  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito mínimo para el escenario más desfavorable

### Power Grid Input Data

Power Grid	Connected Bus	Rating		% Impedance 100 MVA Base			Grounding
		MVASC	kV	R	X"	R/X"	
Red_132kV	SE_132kV	3429.500	132.000	0.70720	2.82882	0.25	Wye - Solid
Red_400kV	SE_400kV	10600.000	400.000	0.10316	0.93774	0.11	Wye - Solid

Total Connected Power Grids (= 2): 14029.500 MVA

### Synchronous Generator Input Data

Synchronous Generator		Rating				% Impedance in Machine Base					Grounding			Excitation
ID	Type	MVA	kV	RPM	% PF	R	Xd"		R/X	Xd, sat	Conn.	Type	Amp	Type
							Adj.	Tol.						Type
G-1	Turbo	636.000	20.000	3000	90.00	0.237	18.00	0.0	0.01	232.00	Wye		5.00	Turbine 130%
G-2	Turbo	636.000	20.000	3000	90.00	0.237	18.00	0.0	0.01	232.00	Wye		5.00	Turbine 130%

Total Connected Synchronous Generators (= 2.00): 1.272.000 MVA

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 12  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito mínimo para el escenario más desfavorable

### Induction Machine Input Data

Induction Machine			Connected Bus		Rating					PosSeqImp (Mtr Base)			Grounding			mFact.
ID	Type	Qty	ID		HP/kW	kVA	kV	Amp	PF	% R	% X"	R/X"	Conn.	Type	Amp	MW/PP
1-VTI_A	Motor	1	1-A1		5250.00	5957.14	6.000	573.23	93.17	1.40	15.32	0.09	Wye	Open		2.63
1-BAC_A	Motor	1	1-A1		2024.00	2318.28	6.000	223.08	92.78	1.82	15.28	0.12	Wye	Open		1.01
1-VTI_B	Motor	1	1-A2		5250.00	5957.14	6.000	573.23	93.17	1.40	15.32	0.09	Wye	Open		2.63
1-BAC_B	Motor	1	1-A2		2024.00	2318.28	6.600	202.80	92.78	1.82	15.28	0.12	Wye	Open		1.01
1-BC	Motor	1	1-A3		1200.00	1381.56	6.000	132.94	92.57	2.10	15.24	0.14	Wye	Open		0.60
VB_DES	Motor	1	1-A3		5770.00	6540.92	6.000	629.40	93.21	1.36	15.32	0.09	Wye	Open		2.89
2-BAC_A	Motor	1	2-A1		2250.00	2574.39	6.000	247.72	92.83	1.77	15.28	0.12	Wye	Open		1.13
2-VAP_A	Motor	1	2-A1		1739.00	1994.83	6.000	191.95	92.72	1.90	15.27	0.12	Wye	Open		0.87
2-BAC_B	Motor	1	2-A2		2250.00	2574.39	6.000	247.72	92.83	1.77	15.28	0.12	Wye	Open		1.13
2-VAP_B	Motor	1	2-A2		1739.00	1994.83	6.000	191.95	92.72	1.90	15.27	0.12	Wye	Open		0.87
2-BC	Motor	1	2-A3		1200.00	1381.56	6.000	132.94	92.57	2.10	15.24	0.14	Wye	Open		0.60
2-VTI-A	Motor	1	2-A4		8420.00	9833.69	10.000	567.75	88.00	3.94	19.66	0.20	Wye	Open		2.81
2-VTI-B	Motor	1	2-A5		8420.00	9833.69	10.000	567.75	88.00	3.94	19.66	0.20	Wye	Open		2.81

Total Connected Induction Machines (= 13 ): 54660.7 kVA

### Lumped Load Input Data

Lumped Load	Lumped Load						Motor Loads									
	ID	Rating			% Load		Loading		% Impedance Machine Base			Grounding			mFact.	
		kVA	kV	Amp	% PF	MTR	STAT	kW	kvar	R	X"	R/X"	Conn.	Type		Amp
Cargas 1A1	19000.0	6.000	1828.28	74.16	80	20	11272.36	10196.76	1.81	18.09	0.10	Delta				11.27
Cargas 1A2	19000.0	6.000	1828.28	74.16	80	20	11272.37	10196.75	1.81	18.09	0.10	Delta				11.27
Cargas 1A3	11000.0	6.000	1058.48	73.66	80	20	6482.06	5951.72	1.81	18.09	0.10	Delta				6.48
Cargas_2A1	14000.0	6.000	1347.15	70.00	80	20	7840.00	7998.40	1.81	18.09	0.10	Delta				7.84
Cargas_2A2	14000.0	6.000	1347.15	70.00	80	20	7840.00	7998.40	1.81	18.09	0.10	Delta				7.84
Cargas_2A3	13000.0	6.000	1250.93	70.39	80	20	7320.47	7387.20	1.81	18.09	0.10	Delta				7.32
Cargas 400V	527.0	0.400	760.66	74.16	80	20	312.66	282.83	7.04	16.76	0.42	Delta				0.31
Cargas_OA	7000.0	6.000	673.58	80.00	80	20	4480.00	3360.00	1.81	18.09	0.10	Delta				4.48

Total Connected Lumped Loads (= 8 ): 97527.0 kVA

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 13  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito mínimo para el escenario más desfavorable

### SHORT-CIRCUIT REPORT

Fault at bus: **Bus 400V**  
 Nominal kV = 0.400  
 Voltage c Factor = 0.95 (Minimum If)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	I0	R1	X1	R0	X0
Bus 400V	Total	0.00	17.825	0.00	103.09	105.17	16.433	16.433	4.46E+002	6.74E+002	5.88E+002	8.26E+002
Bus5	Bus 400V	5.62	15.258	8.99	101.89	102.33	14.856	16.433	5.18E+002	7.89E+002	5.88E+002	8.26E+002
Bus56	Bus 400V	26.67	2.567	16.39	102.95	112.94	1.578	0.000	3.18E+003	4.62E+003		
Bus57	Bus 400V	0.00	0.000	0.00	103.09	105.17	0.000	0.000				
Bus_BAT 20kV	Bus5	97.82	15.258	99.35	98.66	100.00	14.856	16.433 *	4.84E+002	7.48E+002	4.83E+002	7.25E+002
Cargas 400V	Bus56	100.00	2.567	100.00	100.00	100.00	1.578	0.000	1.76E+003	4.18E+003		
Bus3	Bus_BAT 20kV	97.86	0.305	99.36	98.68	100.00	0.162	0.000	4.63E+002	1.77E+002		
Bus50	CMT-4	97.82	0.000	99.35	98.66	100.00	0.000	0.000				
Bus51	CMT-4	97.82	0.000	99.35	98.66	100.00	0.000	0.000				
Bus48	CMT-3	97.82	0.000	99.35	98.66	100.00	0.000	0.000				
Bus49	CMT-3	97.82	0.000	99.35	98.66	100.00	0.000	0.000				
Bus46	CMT-2	97.82	0.000	99.35	98.66	100.00	0.000	0.000				
Bus47	CMT-2	97.82	0.000	99.35	98.66	100.00	0.000	0.000				
Bus44	CMT-1	97.82	0.000	99.35	98.66	100.00	0.000	0.000				
Bus45	CMT-1	97.82	0.000	99.35	98.66	100.00	0.000	0.000				
# Bus25	Bus3	99.88	0.328	99.92	99.96	100.00	0.174	0.000	4.29E+002	1.70E+002		
# Bus1	Bus3	99.97	0.023	99.98	99.99	100.00	0.012	0.000	5.58E+003	3.46E+003		
Bus39	Bus50	97.82	0.000	98.67	99.33	100.01	0.000	0.000				
Bus40	Bus51	97.82	0.000	98.67	99.33	100.01	0.000	0.000				
Bus37	Bus48	97.82	0.000	98.67	99.33	100.01	0.000	0.000				
Bus38	Bus49	97.82	0.000	98.67	99.33	100.01	0.000	0.000				
Bus35	Bus46	97.82	0.000	98.67	99.33	100.01	0.000	0.000				
Bus36	Bus47	97.82	0.000	98.67	99.33	100.01	0.000	0.000				
Bus43	Bus44	97.82	0.000	98.67	99.33	100.01	0.000	0.000				
Bus22	Bus45	97.82	0.000	98.67	99.33	100.01	0.000	0.000				
1-BFA	Bus25	99.88	0.317	99.92	99.96	100.00	0.195	0.000	4.62E-002	1.33E+000		
# Bus1	Bus25	99.97	0.011	99.98	99.99	100.00	0.007	0.000	4.28E+000	3.94E+001		

Project:	Central térmica	<b>ETAP</b>	Page:	14
Location:		12.6.0H	Date:	31-08-2018
Contract:			SN:	
Engineer:	Rafael Sánchez Hernández		Revision:	Base
Filename:	SISTEMA BESS 20 MW	Study Case: SC	Config.:	52_ab

Estudio de cortocircuito mínimo para el escenario más desfavorable

(Cont.)

Fault at bus: **Bus 400V**  
 Nominal kV = 0.400  
 Voltage c Factor = 0.95 (Minimum If)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	3I0	R1	X1	R0	X0
1-A2	Bus1	104.97	0.040	104.98	104.99	105.00	0.024	0.000	3.16E+000	5.71E+000		

	3-Phase	L-G	L-L	L-L-G
Initial Symmetrical Current (kA, rms)	: 17.825	16.433	15.437	17.386
Peak Current (kA), Method C	: 29.115	26.842	25.214	28.398
Breaking Current (kA, rms, symm)	: 16.433	16.433	15.437	17.386
Steady State Current (kA, rms)	: 15.258	16.433	15.437	17.386

# Indicates a fault current contribution from a three-winding transformer  
 \* Indicates a zero sequence fault current contribution (3I0) from a grounded Delta-Y transformer

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 15  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito mínimo para el escenario más desfavorable

Fault at bus: **Bus\_BAT 20kV**  
 Nominal kV = 20.000  
 Voltage c Factor = 1.00 (Minimum If)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	3I0	R1	X1	R0	X0
Bus_BAT 20kV	Total	0.00	12.785	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000	1.52E+000	2.37E+001		
Bus3	Bus_BAT 20kV	1.63	12.745	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000	1.48E+000	2.38E+001		
Bus5	Bus_BAT 20kV	13.32	0.046	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	3.70E+003	5.39E+003		
Bus50	CMT-4	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
Bus51	CMT-4	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
Bus48	CMT-3	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
Bus49	CMT-3	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
Bus46	CMT-2	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
Bus47	CMT-2	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
Bus44	CMT-1	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
Bus45	CMT-1	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
# Bus25	Bus3	94.19	13.690	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.51E+000	2.18E+001		
# Bus1	Bus3	98.90	0.961	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	7.59E+001	3.01E+002		
Bus 400V	Bus5	14.13	2.320	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	5.42E+003	2.09E+003		
Bus39	Bus50	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
Bus40	Bus51	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
Bus37	Bus48	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
Bus38	Bus49	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
Bus35	Bus46	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
Bus36	Bus47	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
Bus43	Bus44	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
Bus22	Bus45	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
1-BFA	Bus25	94.20	13.246	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.12E+001	2.57E+000		
# Bus1	Bus25	98.90	0.445	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	3.28E+002	1.01E+002		
1-A2	Bus1	103.78	1.653	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	2.51E+002	1.66E+002		
Bus56	Bus 400V	35.06	2.320	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	5.38E+003	2.05E+003		
Bus57	Bus 400V	14.13	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
1-A1	1-BFA	103.78	0.407	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	3.59E+002	1.10E+002		
1-A2	1-BFA	103.78	0.407	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	3.59E+002	1.10E+002		
SE_400kV	1-BFA	100.94	6.628	102.50	102.50	102.50	0.000	0.000	2.24E+001	5.34E+000		

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 16  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito mínimo para el escenario más desfavorable

(Cont.)

Fault at bus: **Bus\_BAT 20kV**  
 Nominal kV = 20.000  
 Voltage c Factor = 1.00 (Minimum If)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	3I0	R1	X1	R0	X0
G-1	1-BFA	100.00	5.808	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	4.00E-002	3.03E+000	1.82E+005	2.44E+000
1-VTI_B	1-A2	105.00	0.046	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	2.23E+001	2.45E+002		
1-BAC_B	1-A2	95.45	0.015	95.45	95.45	95.45	0.000	0.000	9.04E+001	7.60E+002		
Cargas 1A2	1-A2	105.00	0.099	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.13E+001	1.13E+002		
0A	1-A3	103.80	0.579	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	8.59E+002	2.92E+001		
1-BC	1-A3	105.00	0.011	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.45E+002	1.05E+003		
VB_DES	1-A3	105.00	0.050	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.98E+001	2.23E+002		
Cargas 1A3	1-A3	105.00	0.057	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.96E+001	1.96E+002		
Cargas 400V	Bus56	100.00	2.320	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.76E+003	4.18E+003		
1-VTI_A	1-A1	105.00	0.046	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	2.23E+001	2.45E+002		
1-BAC_A	1-A1	105.00	0.018	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	7.47E+001	6.28E+002		
Cargas 1A1	1-A1	105.00	0.099	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.13E+001	1.13E+002		
Bus23	SE_400kV	98.48	0.021	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.73E+000	1.07E+001		
Bus24	SE_400kV	98.48	0.021	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.73E+000	1.07E+001		
2-BFA	SE_400kV	99.07	0.044	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	2.09E-001	5.10E+000		
Red_400kV	SE_400kV	102.50	0.238	102.50	102.50	102.50	0.000	0.000	1.03E-001	9.38E-001	9.77E-001	8.88E+000
2-A3	0A	103.81	0.483	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.03E+003	5.46E+000		
Bus30	0A	98.86	0.032	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.42E+004	5.59E+003		
Bus32	0A	98.86	0.032	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.42E+004	5.59E+003		
Cargas_OA	0A	105.00	0.036	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	3.08E+001	3.08E+002		

	3-Phase	L-G	L-L	L-L-G
Initial Symmetrical Current (kA, rms)	12.785	0.000	11.072	11.072
Peak Current (kA), Method C	32.974	0.000	28.557	28.557
Breaking Current (kA, rms, symm)		0.000	11.072	11.072
Steady State Current (kA, rms)	12.741	0.000	11.072	11.072

# Indicates a fault current contribution from a three-winding transformer  
 \* Indicates a zero sequence fault current contribution (3I0) from a grounded Delta-Y transformer

Project: Central térmica  
Location:  
Contract:  
Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
Filename: SISTEMA BESS 20 MW

**ETAP**  
12.6.0H

Study Case: SC

Page: 17  
Date: 31-08-2018  
SN:  
Revision: Base  
Config.: 52\_ab

Estudio de cortocircuito mínimo para el escenario más desfavorable

### Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
ID	kV	I <sup>m</sup> k	ip	Ik	I <sup>m</sup> k	ip	Ib	Ik	I <sup>m</sup> k	ip	Ib	Ik	I <sup>m</sup> k	ip	Ib	Ik
Bus 400V	0.400	17.825	29.115	15.258	16.433	26.842	16.433	16.433	15.437	25.214	15.437	15.437	17.386	28.398	17.386	17.386
Bus_BAT 20kV	20.000	12.785	32.974	12.741	0.000	0.000	0.000	0.000	11.072	28.557	11.072	11.072	11.072	28.557	11.072	11.072

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

\* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

Project:	Central térmica	<b>ETAP</b>	Page:	18
Location:		12.6.0H	Date:	31-08-2018
Contract:			SN:	
Engineer:	Rafael Sánchez Hernández	Study Case: SC	Revision:	Base
Filename:	SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito máximo		Config.:	52_ab

Estudio de cortocircuito mínimo para el escenario más desfavorable

**Sequence Impedance Summary Report**  
**Electrical Transient Analyzer Program**

Bus		Positive Seq. Imp. (ohm)			Negative Seq. Imp. (ohm)			Zero Seq. Imp. (ohm)			Fault Zf (ohm)		
ID	kV	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance
Bus 400V	0.400	0.00679	0.01027	0.01231	0.00679	0.01027	0.01231	0.00896	0.01258	0.01544	0.00000	0.00000	0.00000
Bus_BAT 20kV	20.000	0.05788	0.90135	0.90320	0.05788	0.90134	0.90320				0.00000	0.00000	0.00000

**Short-Circuit Analysis**

**IEC 60909 Standard**

**3-Phase, LG, LL, & LLG Fault Currents**

	— Swing —	— V Control —	— Load —	— Total —
Number of Buses:	2	0	33	35

	— XFMR2 —	— XFMR3 —	— Reactor —	— Line/Cable —	— Impedance —	— Tie PD —	— Total —
Number of Branches:	11	4	0	18	0	5	38

	— Synchronous Generator —	— Power Grid —	— Synchronous Motor —	— Induction Machines —	— Lumped Load —	— Total —
Number of Machines:	0	2	0	13	8	23

System Frequency: 50.00 Hz

Unit System: Metric

Project Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito máximo

Output Filename: C:\Users\pc\Desktop\ETAP TFM\SISTEMA BESS.SI2

Project: Central térmica  
Location:  
Contract:  
Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito máximo

**ETAP**  
12.6.0H

Study Case: SC

Page: 2  
Date: 31-08-2018  
SN:  
Revision: Base  
Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

### Adjustments

<u>Tolerance</u>	<u>Apply Adjustments</u>	<u>Individual /Global</u>	<u>Percent</u>
Transformer Impedance:	Yes	Global	7.5
Reactor Impedance:	No		
Overload Heater Resistance:	No		
Transmission Line Length:	No		
Cable Length:	Yes	Global	10.0

<u>Temperature Correction</u>	<u>Apply Adjustments</u>	<u>Individual /Global</u>	<u>Degree C</u>
Transmission Line Resistance:	Yes	Global	20
Cable Resistance:	Yes	Global	20

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito máximo

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 3  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

### Bus Input Data

ID	Type	Bus			Initial Voltage	
		Nom. kV	Base kV	Sub-sys	%Mag.	Ang.
0A	Load	6.000	6.146	1	103.11	31.90
1-A1	Load	6.000	6.146	1	103.06	31.91
1-A2	Load	6.000	6.146	1	103.06	31.91
1-A3	Load	6.000	6.146	1	103.06	31.91
1-BFA	Load	20.000	19.512	1	100.00	34.93
2-A1	Load	6.000	6.146	1	103.11	31.94
2-A2	Load	6.000	6.146	1	103.11	31.94
2-A3	Load	6.000	6.146	1	103.11	31.94
2-A4	Load	10.500	10.244	1	98.88	63.92
2-A5	Load	10.500	10.244	1	98.88	63.92
2-BFA	Load	20.000	19.512	1	100.00	34.94
Bus1	Load	6.300	6.146	1	98.19	31.93
Bus2	Load	6.300	6.146	1	98.25	31.95
Bus3	Load	20.000	19.512	1	97.34	3.22
Bus4	Load	20.000	19.512	1	100.10	5.21
Bus5	Load	0.400	0.390	1	93.67	32.58
Bus22	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus23	Load	410.000	400.000	1	97.56	0.00
Bus24	Load	410.000	400.000	1	97.56	0.00
Bus25	Load	20.000	19.512	1	100.00	34.93
Bus28	Load	20.000	19.512	1	100.00	34.94
Bus29	Load	132.000	128.780	1	100.00	0.00
Bus30	Load	6.300	6.146	1	98.19	31.88
Bus31	Load	132.000	128.780	1	100.00	0.00
Bus32	Load	6.300	6.146	1	98.19	31.88
Bus43	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus44	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20
Bus45	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20
Bus56	Load	0.400	0.390	1	86.46	34.90
Bus57	Load	0.400	0.390	1	93.41	32.57
Bus 400V	Load	0.400	0.390	1	93.43	32.57
Bus_BAT 20kV	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.21
CMT-1	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.21
SE_132kV	SWNG	132.000	128.780	1	100.00	0.00

Project: Central térmica  
Location:  
Contract:  
Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito máximo

**ETAP**  
12.6.0H

Study Case: SC

Page: 4  
Date: 31-08-2018  
SN:  
Revision: Base  
Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

<b>Bus</b>					<b>Initial Voltage</b>	
ID	Type	Nom. kV	Base kV	Sub-sys	%Mag.	Ang.
SE_400kV	SWNG	400.000	400.000	1	100.00	0.00

35 Buses Total

All voltages reported by ETAP are in % of bus Nominal kV.  
Base kV values of buses are calculated and used internally by ETAP.

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito máximo

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 5  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

### Line/Cable Input Data

#### Ohms or Siemens per 1000 m per Conductor (Cable) or per Phase (Line)

Line/Cable	ID	Library	Size	Length		#/Phase	T (°C)	R1	X1	Y1	R0	X0	Y0
				Adj. (m)	% Tol.								
Cable1		11NCUS1	400	45.0	-10.0	5	20	0.0501942	0.101	0.0001762	0.0798087	0.25654	
Cable3		6.6NALS1	400	45.0	-10.0	5	20	0.0795542	0.0999		0.1264912	0.253746	
Cable4		33NCUS1	300	270.0	-10.0	3	20	0.0627427	0.121	0.0000782	0.0997609	0.30734	
Cable9		33MCUS3	185	31.5	-10.0	1	20	0.1003883	0.114	0.0000682	0.3162231	0.28044	
Cable10		33MCUS3	185	31.5	-10.0	1	20	0.1003883	0.114	0.0000682	0.3162231	0.28044	
Cable12		11MCUN1	400	72.0	-10.0	6	20	0.0501942	0.101	0.0001762	0.1568567	0.25	
Cable14		11MCUN1	500	54.0	-10.0	7	20	0.0399985	0.1	0.0001945	0.1254854	0.25	
Cable17		33MCUS3	35	0.9	-10.0	1	20	0.5239014	0.15	0.0000415	1.650289	0.369	
Cable19		33MCUS3	35	0.9	-10.0	1	20	0.5239014	0.15	0.0000415	1.650289	0.369	
Cable20		33MCUS1	240	0.9	-10.0	2	20	0.0768598	0.125	0.0000719	0.2421083	0.3075	
Cable21		33MCUS3	35	0.9	-10.0	1	20	0.5239014	0.15	0.0000415	1.650289	0.369	
Cable24		33MCUS3	185	4.5	-10.0	1	20	0.1003883	0.114	0.0000682	0.3162231	0.28044	
Cable25		33MCUS3	35	0.9	-10.0	1	20	0.5239014	0.15	0.0000415	1.650289	0.369	
Cable26		33MCUS3	35	0.9	-10.0	1	20	0.5239014	0.15	0.0000415	1.650289	0.369	
Cable27		33MCUS3	35	0.9	-10.0	1	20	0.5239014	0.15	0.0000415	1.650289	0.369	
Cable28		33MCUS3	35	0.9	-10.0	1	20	0.5239014	0.15	0.0000415	1.650289	0.369	
Cable29		33MCUS3	35	36.9	-10.0	1	20	0.5239014	0.15	0.0000415	1.650289	0.369	
Cable30		33MCUS3	35	9.0	-10.0	1	20	0.5239014	0.15	0.0000415	1.650289	0.369	

Line / Cable resistances are listed at the specified temperatures.

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito máximo

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 6  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

### 2-Winding Transformer Input Data

Transformer ID	Rating			Z Variation			% Tap Setting		Adjusted	Phase Shift			
	MVA	Prim. kV	Sec. kV	% Z	X/R	+ 5%	- 5%	% Tol.	Prim.	Sec.	% Z	Type	Angle
1TAG1	30.000	20.000	6.300	9.37	17.55	0	0	-7.5	0	1.590	8.6673	Yyn	0.000
1TAG2	30.000	20.000	6.300	9.37	17.55	0	0	-7.5	0	1.590	8.6673	Yyn	0.000
1TPR	628.500	410.000	20.000	11.22	47.90	0	0	-7.5	0	0	10.3785	YNd	-30.000
2TAG1	38.000	20.000	6.300	10.36	24.60	0	0	-7.5	0	0	9.5830	Yyn	0.000
2TAG2	38.000	20.000	6.300	10.36	24.60	0	0	-7.5	0	0	9.5830	Yyn	0.000
2TAG4	24.000	20.000	10.500	6.31	16.51	0	0	-7.5	0	0	5.8367	Dyn	-30.000
2TAG5	24.000	20.000	10.500	6.31	16.51	0	0	-7.5	0	0	5.8367	Dyn	-30.000
2TPR	628.500	410.000	20.000	11.22	47.90	0	0	-7.5	0	0	10.3785	YNd	-30.000
PH1	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	-7.5	0	0	5.7998	Dyn	-30.000
PH2	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	-7.5	0	0	5.7998	Dyn	-30.000
TSA	0.630	20.000	0.400	5.00	1.50	0	0	-7.5	0	0	4.6250	Dyn	-30.000

### 2-Winding Transformer Grounding Input Data

Transformer ID	Rating			Conn.		Primary			Secondary			
	MVA	Prim. kV	Sec. kV	Type	Type	kV	Amp	Ohm	Type	kV	Amp	Ohm
1TAG1	30.000	20.000	6.300	Y/Y	Open				XFMR-Resistor	kV1: 3.695	4.7	777.46390
										kV2: 0.120	144.1	0.82000
1TAG2	30.000	20.000	6.300	Y/Y	Open				XFMR-Resistor	kV1: 3.695	4.8	765.31600
										kV2: 0.120	146.3	0.80719
1TPR	628.500	410.000	20.000	Y/D	Solid							
2TAG1	38.000	20.000	6.300	Y/Y	Open				XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	732.95760
										kV2: 0.137	131.7	1.04000
2TAG2	38.000	20.000	6.300	Y/Y	Open				XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	732.95760
										kV2: 0.137	131.7	1.04000
2TAG4	24.000	20.000	10.500	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 6.062	5.0	1203.9430
										kV2: 0.139	219.6	0.63300
2TAG5	24.000	20.000	10.500	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 6.062	5.0	1203.9430
										kV2: 0.139	219.6	0.63300
2TPR	628.500	410.000	20.000	Y/D	Solid							
PH1	2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
										kV2: 0.137	131.7	0.06603
PH2	2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito máximo

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 7  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

**2-Winding Transformer Grounding Input Data**

Transformer	Rating			Conn.	Primary				Secondary				
	ID	MVA	Prim. kV		Sec. kV	Type	kV	Amp	Ohm	Type	kV	Amp	Ohm
PH2		2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
											kV2: 0.137	131.7	0.06603
TSA		0.630	20.000	0.400	D/Y					Solid			

**3-Winding Transformer Input Data**

Transformer	Winding	Rating		Tap	Impedance				Z Variation		Phase Shift		
		MVA	kV		%	% Z	X/R	MVA <sub>b</sub>	% Tol.	+ 5%	- 5%	Type	Angle
0TAA-1	Primary:	360.000	410.000	-4.63	Z <sub>ps</sub> =	15.70	48.37	360.000	-7.5	0	0		
	Secondary:	360.000	132.000	0	Z <sub>pt</sub> =	134.40	375.00	360.000	-7.5			Special	0.000
	Tertiary:	36.000	6.300	3.17	Z <sub>st</sub> =	126.40	342.00	360.000	-7.5			Special	30.000
0TAA-2	Primary:	360.000	410.000	-4.63	Z <sub>ps</sub> =	15.70	48.37	360.000	-7.5	0	0		
	Secondary:	360.000	132.000	0	Z <sub>pt</sub> =	134.40	375.00	360.000	-7.5			Special	0.000
	Tertiary:	36.000	6.300	3.17	Z <sub>st</sub> =	126.40	342.00	360.000	-7.5			Special	30.000
Nuevo_ITAG2	Primary:	52.000	20.000	0	Z <sub>ps</sub> =	17.00	27.44	52.000	-7.5	0	0		
	Secondary:	32.000	6.300	0	Z <sub>pt</sub> =	10.00	17.88	52.000	-7.5			Std Pos. Seq.	0.000
	Tertiary:	20.000	20.000	0	Z <sub>st</sub> =	30.00	35.50	52.000	-7.5			Std Pos. Seq.	-30.000
Nuevo_2TAG2	Primary:	52.000	20.000	0	Z <sub>ps</sub> =	17.00	27.44	52.000	-7.5	0	0		
	Secondary:	32.000	6.300	0	Z <sub>pt</sub> =	10.00	17.88	52.000	-7.5			Std Pos. Seq.	0.000
	Tertiary:	20.000	20.000	0	Z <sub>st</sub> =	30.00	35.50	52.000	-7.5			Std Pos. Seq.	-30.000

**3-Winding Transformer Grounding Input Data**

Transformer	Winding	Rating		Conn.	Grounding			
		MVA	kV		Type	Type	kV	Amp
0TAA-1	Primary:	360.000	410.000	Wye	Solid			
	Secondary:	360.000	132.000	Wye	Solid			
	Tertiary:	36.000	6.300	Delta				
0TAA-2	Primary:	360.000	410.000	Wye	Solid			
	Secondary:	360.000	132.000	Wye	Solid			
	Tertiary:	36.000	6.300	Delta				

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito máximo

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 8  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

**3-Winding Transformer Grounding Input Data**

Transformer ID	Winding	Rating		Conn. Type	Grounding				
		MVA	kV		Type	kV	Amp	Ohm	
Nuevo_1TAG2	Primary:	52.000	20.000	Wye	Open				
	Secondary:	32.000	6.300	Wye	XFMR-Resistor	kV1: 3.637	4.8	753.24800	
						kV2: 0.120	146.4	0.82000	
	Tertiary:	20.000	20.000	Delta					
Nuevo_2TAG2	Primary:	52.000	20.000	Wye	Open				
	Secondary:	32.000	6.300	Wye	XFMR-Resistor	kV1: 3.637	4.8	753.24800	
						kV2: 0.120	0.0	0.82000	
	Tertiary:	20.000	20.000	Delta					

Project:	Central térmica	<b>ETAP</b>	Page:	9
Location:		12.6.0H	Date:	31-08-2018
Contract:			SN:	
Engineer:	Rafael Sánchez Hernández	Study Case: SC	Revision:	Base
Filename:	SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito máximo		Config.:	52_ab

Estudio cortocircuito

### Branch Connections

CKT/Branch		Connected Bus ID		% Impedance, Pos. Seq., 100 MVAb			
ID	Type	From Bus	To Bus	R	X	Z	Y
1TAG1	2W XFMR	1-BFA	1-A1	1.72	30.10	30.15	
1TAG2	2W XFMR	1-BFA	1-A2	1.72	30.10	30.15	
1TPR	2W XFMR	SE_400kV	1-BFA	0.04	1.71	1.71	
2TAG1	2W XFMR	2-BFA	2-A1	1.06	26.16	26.18	
2TAG2	2W XFMR	2-BFA	2-A2	1.06	26.16	26.18	
2TAG4	2W XFMR	2-BFA	2-A4	1.56	25.75	25.80	
2TAG5	2W XFMR	2-BFA	2-A5	1.56	25.75	25.80	
2TPR	2W XFMR	SE_400kV	2-BFA	0.04	1.71	1.71	
PH1	2W XFMR	Bus44	Bus43	35.78	214.68	217.65	
PH2	2W XFMR	Bus45	Bus22	35.78	214.68	217.65	
TSA	2W XFMR	Bus_BAT 20kV	Bus5	417.13	625.70	752.00	
0TAA-1	3W Xfmr	Bus23	Bus29	0.09	4.17	4.17	
	3W Xfmr	Bus23	Bus30	-2.34	127.44	127.46	
	3W Xfmr	Bus29	Bus30	0.43	44.61	44.61	
0TAA-2	3W Xfmr	Bus24	Bus31	0.09	4.17	4.17	
	3W Xfmr	Bus24	Bus32	-2.34	127.44	127.46	
	3W Xfmr	Bus31	Bus32	0.43	44.61	44.61	
Nuevo_1TAG2	3W Xfmr	Bus25	Bus1	1.70	27.75	27.81	
	3W Xfmr	Bus25	Bus3	1.26	17.63	17.68	
	3W Xfmr	Bus1	Bus3	-60.60	-249.32	256.58	
Nuevo_2TAG2	3W Xfmr	Bus28	Bus2	1.70	27.75	27.81	
	3W Xfmr	Bus28	Bus4	1.26	17.63	17.68	
	3W Xfmr	Bus2	Bus4	-60.60	-249.32	256.58	
Cable1	Cable	Bus1	1-A2	0.12	0.24	0.27	0.0014977
Cable3	Cable	2-A2	Bus2	0.19	0.24	0.30	
Cable4	Cable	Bus3	Bus_BAT 20kV	0.15	0.29	0.32	0.0241159
Cable9	Cable	CMT-1	Bus44	0.08	0.09	0.13	0.0008179
Cable10	Cable	CMT-1	Bus45	0.08	0.09	0.13	0.0008179
Cable12	Cable	1-A3	0A	0.16	0.32	0.36	0.0028756
Cable14	Cable	0A	2-A3	0.08	0.20	0.22	0.0027774
Cable17	Cable	SE_400kV	Bus23	0.00	0.00	0.00	0.0059760
Cable19	Cable	SE_400kV	Bus24	0.00	0.00	0.00	0.0059760
Cable20	Cable	1-BFA	Bus25	0.00	0.00	0.00	0.0000493
Cable21	Cable	2-BFA	Bus28	0.01	0.00	0.01	0.0000142
Cable24	Cable	Bus5	Bus 400V	29.66	33.69	44.88	0.0000000
Cable25	Cable	SE_132kV	Bus29	0.00	0.00	0.00	0.0006194
Cable26	Cable	Bus30	0A	0.12	0.04	0.13	0.0000014

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito máximo

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 10  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

CKT/Branch		Connected Bus ID		% Impedance, Pos. Seq., 100 MVAb			
ID	Type	From Bus	To Bus	R	X	Z	Y
Cable27	Cable	SE_132kV	Bus31	0.00	0.00	0.00	0.0006194
Cable28	Cable	Bus32	0A	0.12	0.04	0.13	0.0000014
Cable29	Cable	Bus 400V	Bus56	1269.42	363.45	1320.42	0.0000002
Cable30	Cable	Bus 400V	Bus57	309.61	88.65	322.05	0.0000001
52-B1	Tie Breakr	Bus_BAT 20kV	CMT-1				
CB108	Tie Breakr	1-A3	1-A1				
CB110	Tie Breakr	1-A2	1-A3				
CB131	Tie Breakr	2-A1	2-A3				
CB132	Tie Breakr	2-A3	2-A2				

Project:	Central térmica	<b>ETAP</b>	Page:	11
Location:		12.6.0H	Date:	31-08-2018
Contract:			SN:	
Engineer:	Rafael Sánchez Hernández	Study Case: SC	Revision:	Base
Filename:	SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito máximo		Config.:	52_ab

Estudio cortocircuito

### Power Grid Input Data

Power Grid ID	Connected Bus ID	Rating		% Impedance 100 MVA Base			Grounding Type
		MVASC	kV	R	X"	R/X"	
Red_132kV	SE_132kV	3429.500	132.000	0.70720	2.82882	0.25	Wye - Solid
Red_400kV	SE_400kV	10600.000	400.000	0.10316	0.93774	0.11	Wye - Solid

Total Connected Power Grids (= 2): 14029.500 MVA

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito máximo

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 12  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

### Induction Machine Input Data

Induction Machine			Connected Bus		Rating					PosSeqImp (Mtr Base)			Grounding			mFact.
ID	Type	Qty	ID		HP/kW	kVA	kV	Amp	PF	% R	% X"	R/X"	Conn.	Type	Amp	MW/PP
1-VTI_A	Motor	1	1-A1		5250.00	5957.14	6.000	573.23	93.17	1.40	15.32	0.09	Wye	Open		2.63
1-BAC_A	Motor	1	1-A1		2024.00	2318.28	6.000	223.08	92.78	1.82	15.28	0.12	Wye	Open		1.01
1-VTI_B	Motor	1	1-A2		5250.00	5957.14	6.000	573.23	93.17	1.40	15.32	0.09	Wye	Open		2.63
1-BAC_B	Motor	1	1-A2		2024.00	2318.28	6.600	202.80	92.78	1.82	15.28	0.12	Wye	Open		1.01
1-BC	Motor	1	1-A3		1200.00	1381.56	6.000	132.94	92.57	2.10	15.24	0.14	Wye	Open		0.60
VB_DES	Motor	1	1-A3		5770.00	6540.92	6.000	629.40	93.21	1.36	15.32	0.09	Wye	Open		2.89
2-BAC_A	Motor	1	2-A1		2250.00	2574.39	6.000	247.72	92.83	1.77	15.28	0.12	Wye	Open		1.13
2-VAP_A	Motor	1	2-A1		1739.00	1994.83	6.000	191.95	92.72	1.90	15.27	0.12	Wye	Open		0.87
2-BAC_B	Motor	1	2-A2		2250.00	2574.39	6.000	247.72	92.83	1.77	15.28	0.12	Wye	Open		1.13
2-VAP_B	Motor	1	2-A2		1739.00	1994.83	6.000	191.95	92.72	1.90	15.27	0.12	Wye	Open		0.87
2-BC	Motor	1	2-A3		1200.00	1381.56	6.000	132.94	92.57	2.10	15.24	0.14	Wye	Open		0.60
2-VTI-A	Motor	1	2-A4		8420.00	9833.69	10.000	567.75	88.00	3.93	19.65	0.20	Wye	Open		2.81
2-VTI-B	Motor	1	2-A5		8420.00	9833.69	10.000	567.75	88.00	3.93	19.65	0.20	Wye	Open		2.81

Total Connected Induction Machines (= 13 ): 54660.7 kVA

### Lumped Load Input Data

Lumped Load	Lumped Load						Motor Loads									
	ID	Rating			% Load		Loading		% Impedance Machine Base			Grounding			mFact.	
		kVA	kV	Amp	% PF	MTR	STAT	kW	kvar	R	X"	R/X"	Conn.	Type		Amp
Cargas 1A1	19000.0	6.000	1828.28	74.16	80	20	11272.36	10196.76	1.81	18.09	0.10	Delta			11.27	
Cargas 1A2	19000.0	6.000	1828.28	74.16	80	20	11272.37	10196.75	1.81	18.09	0.10	Delta			11.27	
Cargas 1A3	11000.0	6.000	1058.48	73.66	80	20	6482.06	5951.72	1.81	18.09	0.10	Delta			6.48	
Cargas_2A1	14000.0	6.000	1347.15	70.00	80	20	7840.00	7998.40	1.81	18.09	0.10	Delta			7.84	
Cargas_2A2	14000.0	6.000	1347.15	70.00	80	20	7840.00	7998.40	1.81	18.09	0.10	Delta			7.84	
Cargas_2A3	13000.0	6.000	1250.93	70.39	80	20	7320.47	7387.20	1.81	18.09	0.10	Delta			7.32	
Cargas 400V	527.0	0.400	760.66	74.16	80	20	312.66	282.83	7.04	16.76	0.42	Delta			0.31	
Cargas_OA	7000.0	6.000	673.58	80.00	80	20	4480.00	3360.00	1.81	18.09	0.10	Delta			4.48	

Total Connected Lumped Loads (= 8 ): 97527.0 kVA

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito máximo

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 13  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

**SHORT-CIRCUIT REPORT**

Fault at bus: **Bus 400V**  
 Nominal kV = 0.400  
 Voltage c Factor = 1.10 (Maximum If)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	I3I0	R1	X1	R0	X0
Bus 400V	Total	0.00	23.517	0.00	102.53	104.99	21.838	21.838	3.90E+002	5.92E+002	5.11E+002	7.09E+002
Bus5	Bus 400V	5.51	20.459	8.84	101.52	102.13	19.945	21.838	4.48E+002	6.81E+002	5.11E+002	7.09E+002
Bus56	Bus 400V	24.20	3.058	14.98	102.08	112.16	1.893	0.000	3.02E+003	4.54E+003		
Bus57	Bus 400V	0.00	0.000	0.00	102.53	104.99	0.000	0.000				
Bus_BAT 20kV	Bus5	97.69	20.459	99.31	98.57	100.00	19.945	21.838 *	4.19E+002	6.47E+002	4.17E+002	6.26E+002
Cargas 400V	Bus56	100.00	3.058	100.00	100.00	100.00	1.893	0.000	1.76E+003	4.18E+003		
Bus3	Bus_BAT 20kV	97.73	0.409	99.32	98.59	100.00	0.219	0.000	3.99E+002	1.55E+002		
Bus44	CMT-1	97.69	0.000	99.31	98.57	100.00	0.000	0.000				
Bus45	CMT-1	97.69	0.000	99.31	98.57	100.00	0.000	0.000				
# Bus25	Bus3	99.75	0.442	99.85	99.92	100.00	0.237	0.000	3.68E+002	1.48E+002		
# Bus1	Bus3	99.91	0.033	99.94	99.97	100.00	0.018	0.000	4.53E+003	2.80E+003		
Bus43	Bus44	97.69	0.000	98.58	99.28	100.01	0.000	0.000				
Bus22	Bus45	97.69	0.000	98.58	99.28	100.01	0.000	0.000				
1-BFA	Bus25	99.75	0.419	99.85	99.92	100.00	0.259	0.000	1.42E-001	2.32E+000		
# Bus1	Bus25	99.91	0.023	99.94	99.97	100.00	0.014	0.000	4.96E+000	4.29E+001		
1-A2	Bus1	104.90	0.034	104.94	104.97	105.00	0.021	0.000	1.79E+001	2.70E+001		

	3-Phase	L-G	L-L	L-L-G
Initial Symmetrical Current (kA, rms)	23.517	21.838	20.366	23.041
Peak Current (kA), Method C	38.433	35.689	33.284	37.656
Breaking Current (kA, rms, symm)		21.838	20.366	23.041
Steady State Current (kA, rms)	20.458	21.838	20.366	23.041

# Indicates a fault current contribution from a three-winding transformer  
 \* Indicates a zero sequence fault current contribution (3I0) from a grounded Delta-Y transformer

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito máximo

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 14  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

Fault at bus: **Bus\_BAT 20kV**  
 Nominal kV = 20.000  
 Voltage c Factor = 1.10 (Maximum If)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	I30	R1	X1	R0	X0
Bus_BAT 20kV	Total	0.00	15.384	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000	1.40E+000	2.16E+001		
Bus3	Bus_BAT 20kV	1.48	15.338	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000	1.37E+000	2.17E+001		
Bus5	Bus_BAT 20kV	12.03	0.053	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	3.47E+003	5.20E+003		
Bus44	CMT-1	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
Bus45	CMT-1	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
# Bus25	Bus3	89.05	16.551	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.40E+000	1.98E+001		
# Bus1	Bus3	96.09	1.232	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	6.41E+001	2.59E+002		
Bus 400V	Bus5	12.74	2.668	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	5.19E+003	2.14E+003		
Bus43	Bus44	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
Bus22	Bus45	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
1-BFA	Bus25	89.05	15.705	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.05E+001	1.30E+000		
# Bus1	Bus25	96.09	0.847	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.94E+002	3.46E+001		
1-A2	Bus1	100.86	1.282	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	3.27E+002	2.69E+002		
Bus56	Bus 400V	31.96	2.668	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	5.16E+003	2.11E+003		
Bus57	Bus 400V	12.74	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
1-A1	1-BFA	100.86	0.777	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	2.11E+002	3.71E+001		
1-A2	1-BFA	100.86	0.777	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	2.11E+002	3.71E+001		
SE_400kV	1-BFA	98.69	14.153	102.50	102.50	102.50	0.000	0.000	1.17E+001	1.38E+000		
1-VTI_B	1-A2	105.00	0.170	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	2.23E+001	2.45E+002		
1-BAC_B	1-A2	95.45	0.055	95.45	95.45	95.45	0.000	0.000	9.04E+001	7.60E+002		
Cargas 1A2	1-A2	105.00	0.368	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.13E+001	1.13E+002		
0A	1-A3	100.93	2.134	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	2.50E+002	4.35E+001		
1-BC	1-A3	105.00	0.039	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.45E+002	1.05E+003		
VB_DES	1-A3	105.00	0.187	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.98E+001	2.23E+002		
Cargas 1A3	1-A3	105.00	0.213	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.96E+001	1.96E+002		
Cargas 400V	Bus56	100.00	2.668	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.76E+003	4.18E+003		
1-VTI_A	1-A1	105.00	0.170	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	2.23E+001	2.45E+002		
1-BAC_A	1-A1	105.00	0.066	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	7.47E+001	6.28E+002		
Cargas 1A1	1-A1	105.00	0.368	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.13E+001	1.13E+002		
Bus23	SE_400kV	96.28	0.052	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.99E+000	1.14E+001		

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito máximo

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 15  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

(Cont.)

Fault at bus: **Bus\_BAT 20kV**  
 Nominal kV = 20.000  
 Voltage c Factor = 1.10 (Maximum If)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	3I0	R1	X1	R0	X0
Bus24	SE_400kV	96.28	0.052	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.99E+000	1.14E+001		
2-BFA	SE_400kV	96.31	0.003	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.25E+002	1.55E+002		
Red_400kV	SE_400kV	102.50	0.583	102.50	102.50	102.50	0.000	0.000	1.13E-001	1.03E+000	1.08E+000	9.77E+000
2-A3	0A	100.95	1.262	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	4.24E+002	6.69E+001		
Bus30	0A	96.12	0.370	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.44E+003	2.86E+002		
Bus32	0A	96.12	0.370	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.44E+003	2.86E+002		
Cargas_OA	0A	105.00	0.133	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	3.08E+001	3.08E+002		

	3-Phase	L-G	L-L	L-L-G
Initial Symmetrical Current (kA, rms)	15.384	0.000	13.324	13.324
Peak Current (kA), Method C	39.649	0.000	34.338	34.338
Breaking Current (kA, rms, symm)		0.000	13.324	13.324
Steady State Current (kA, rms)	15.286	0.000	13.324	13.324

# Indicates a fault current contribution from a three-winding transformer  
 \* Indicates a zero sequence fault current contribution (3I0) from a grounded Delta-Y transformer

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito máximo

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 16  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

### Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
ID	kV	I <sup>"k</sup>	ip	Ik	I <sup>"k</sup>	ip	Ib	Ik	I <sup>"k</sup>	ip	Ib	Ik	I <sup>"k</sup>	ip	Ib	Ik
Bus 400V	0.400	23.517	38.433	20.458	21.838	35.689	21.838	21.838	20.366	33.284	20.366	20.366	23.041	37.656	23.041	23.041
Bus_BAT 20kV	20.000	15.384	39.649	15.286	0.000	0.000	0.000	0.000	13.324	34.338	13.324	13.324	13.324	34.338	13.324	13.324

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

\* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

<b>Project:</b> Central térmica	<b>ETAP</b>	<b>Page:</b> 17
<b>Location:</b>	12.6.0H	<b>Date:</b> 31-08-2018
<b>Contract:</b>		<b>SN:</b>
<b>Engineer:</b> Rafael Sánchez Hernández	<b>Study Case:</b> SC	<b>Revision:</b> Base
<b>Filename:</b> SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito máximo		<b>Config.:</b> 52_ab

Estudio cortocircuito

**Sequence Impedance Summary Report**

**Electrical Transient Analyzer Program**

Bus		Positive Seq. Imp. (ohm)			Negative Seq. Imp. (ohm)			Zero Seq. Imp. (ohm)			Fault Zf (ohm)		
ID	kV	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance
Bus 400V	0.400	0.00594	0.00902	0.01080	0.00594	0.00902	0.01080	0.00778	0.01079	0.01330	0.00000	0.00000	0.00000
Bus_BAT 20kV	20.000	0.05339	0.82389	0.82562	0.05340	0.82385	0.82558				0.00000	0.00000	0.00000

**Short-Circuit Analysis**

**IEC 60909 Standard**

**3-Phase, LG, LL, & LLG Fault Currents**

	Swing	V-Control	Load	Total			
Number of Buses:	2	0	33	35			
	XFMR2	XFMR3	Reactor	Line/Cable	Impedance	Tie PD	Total
Number of Branches:	11	4	0	18	0	5	38
	Synchronous Generator	Power Grid	Synchronous Motor	Induction Machines	Lumped Load	Total	
Number of Machines:	0	2	0	13	8	23	

System Frequency: 50.00 Hz  
 Unit System: Metric  
 Project Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito mínimo  
 Output Filename: C:\Users\pc\Desktop\ETAP TFM\SISTEMA BESS.SI2

Project: Central térmica  
Location:  
Contract:  
Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito mínimo

**ETAP**  
12.6.0H

Study Case: SC

Page: 2  
Date: 31-08-2018  
SN:  
Revision: Base  
Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

### Adjustments

<u>Tolerance</u>	<u>Apply Adjustments</u>	<u>Individual /Global</u>	<u>Percent</u>
Transformer Impedance:	Yes	Global	7.5
Reactor Impedance:	No		
Overload Heater Resistance:	No		
Transmission Line Length:	No		
Cable Length:	Yes	Global	10.0

<u>Temperature Correction</u>	<u>Apply Adjustments</u>	<u>Individual /Global</u>	<u>Degree C</u>
Transmission Line Resistance:	Yes	Global	0
Cable Resistance:	Yes	Global	0

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito mínimo

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 3  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

**Bus Input Data**

ID	Bus			Initial Voltage		
	Type	Nom. kV	Base kV	Sub-sys	%Mag.	Ang.
0A	Load	6.000	6.146	1	103.11	31.90
1-A1	Load	6.000	6.146	1	103.06	31.91
1-A2	Load	6.000	6.146	1	103.06	31.91
1-A3	Load	6.000	6.146	1	103.06	31.91
1-BFA	Load	20.000	19.512	1	100.00	34.93
2-A1	Load	6.000	6.146	1	103.11	31.94
2-A2	Load	6.000	6.146	1	103.11	31.94
2-A3	Load	6.000	6.146	1	103.11	31.94
2-A4	Load	10.500	10.244	1	98.88	63.92
2-A5	Load	10.500	10.244	1	98.88	63.92
2-BFA	Load	20.000	19.512	1	100.00	34.94
Bus1	Load	6.300	6.146	1	98.19	31.93
Bus2	Load	6.300	6.146	1	98.25	31.95
Bus3	Load	20.000	19.512	1	97.34	3.22
Bus4	Load	20.000	19.512	1	100.10	5.21
Bus5	Load	0.400	0.390	1	93.67	32.58
Bus22	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus23	Load	410.000	400.000	1	97.56	0.00
Bus24	Load	410.000	400.000	1	97.56	0.00
Bus25	Load	20.000	19.512	1	100.00	34.93
Bus28	Load	20.000	19.512	1	100.00	34.94
Bus29	Load	132.000	128.780	1	100.00	0.00
Bus30	Load	6.300	6.146	1	98.19	31.88
Bus31	Load	132.000	128.780	1	100.00	0.00
Bus32	Load	6.300	6.146	1	98.19	31.88
Bus43	Load	0.400	0.390	1	93.22	30.56
Bus44	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20
Bus45	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.20
Bus56	Load	0.400	0.390	1	86.46	34.90
Bus57	Load	0.400	0.390	1	93.41	32.57
Bus 400V	Load	0.400	0.390	1	93.43	32.57
Bus_BAT 20kV	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.21
CMT-1	Load	20.000	19.512	1	97.27	3.21
SE_132kV	SWNG	132.000	128.780	1	100.00	0.00

Project: Central térmica  
Location:  
Contract:  
Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito mínimo

**ETAP**  
12.6.0H

Study Case: SC

Page: 4  
Date: 31-08-2018  
SN:  
Revision: Base  
Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

<b>Bus</b>					<b>Initial Voltage</b>	
ID	Type	Nom. kV	Base kV	Sub-sys	%Mag.	Ang.
SE_400kV	SWNG	400.000	400.000	1	100.00	0.00

35 Buses Total

All voltages reported by ETAP are in % of bus Nominal kV.  
Base kV values of buses are calculated and used internally by ETAP.

<b>Project:</b> Central térmica	<b>FTAP</b>	<b>Date:</b> 5
<b>Location:</b>	12601	<b>Date:</b> 31-08-2018
<b>Contract:</b>		<b>EN:</b>
<b>Engineer:</b> Rafael Sánchez Hernández	<b>Study Case:</b> SC	<b>Revision:</b> Base
<b>Filename:</b> SISTEMA DESS 20 MW estudio cortocircuitos mínimo		<b>Config.:</b> 52_ab

Estudio cortocircuito

**Line/Cable Input Data**

**Ohms or Siemens per 1000 m per Conductor (Cable) or per Phase (Line)**

Line/Cable	Library	Size	Length		#/Phase	T (°C)	R1	X1	Y1	R0	X0	Y0
			Adj. (m)	% Tol.								
Cable1	11NCUS1	400	55.0	10.0	5	0	0.0462496	0.101	0.0001762	0.0735369	0.25654	
Cable3	6.6NALS1	400	55.0	10.0	5	0	0.0731412	0.0999		0.1162944	0.253746	
Cable4	33NCUS1	300	330.0	10.0	3	0	0.057812	0.121	0.0000782	0.0919211	0.30734	
Cable9	33MCUS3	185	38.5	10.0	1	0	0.0924992	0.114	0.0000682	0.2913726	0.28044	
Cable10	33MCUS3	185	38.5	10.0	1	0	0.0924992	0.114	0.0000682	0.2913726	0.28044	
Cable12	11MCUN1	400	88.0	10.0	6	0	0.0462496	0.101	0.0001762	0.14453	0.25	
Cable14	11MCUN1	500	66.0	10.0	7	0	0.0368552	0.1	0.0001945	0.115624	0.25	
Cable17	33MCUS3	35	1.1	10.0	1	0	0.4827303	0.15	0.0000415	1.520601	0.369	
Cable19	33MCUS3	35	1.1	10.0	1	0	0.4827303	0.15	0.0000415	1.520601	0.369	
Cable20	33MCUS1	240	1.1	10.0	2	0	0.0708197	0.125	0.0000719	0.2230821	0.3075	
Cable21	33MCUS3	35	1.1	10.0	1	0	0.4827303	0.15	0.0000415	1.520601	0.369	
Cable24	33MCUS3	185	5.5	10.0	1	0	0.0924992	0.114	0.0000682	0.2913726	0.28044	
Cable25	33MCUS3	35	1.1	10.0	1	0	0.4827303	0.15	0.0000415	1.520601	0.369	
Cable26	33MCUS3	35	1.1	10.0	1	0	0.4827303	0.15	0.0000415	1.520601	0.369	
Cable27	33MCUS3	35	1.1	10.0	1	0	0.4827303	0.15	0.0000415	1.520601	0.369	
Cable28	33MCUS3	35	1.1	10.0	1	0	0.4827303	0.15	0.0000415	1.520601	0.369	
Cable29	33MCUS3	35	45.1	10.0	1	0	0.4827303	0.15	0.0000415	1.520601	0.369	
Cable30	33MCUS3	35	11.0	10.0	1	0	0.4827303	0.15	0.0000415	1.520601	0.369	

Line / Cable resistances are listed at the specified temperatures.

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito mínimo

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 6  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

**2-Winding Transformer Input Data**

Transformer ID	Rating			Z Variation			% Tap Setting		Adjusted	Phase Shift			
	MVA	Prim. kV	Sec. kV	% Z	X/R	+ 5%	- 5%	% Tol.	Prim.	Sec.	% Z	Type	Angle
1TAG1	30.000	20.000	6.300	9.37	17.55	0	0	7.5	0	1.590	10.0727	Yyn	0.000
1TAG2	30.000	20.000	6.300	9.37	17.55	0	0	7.5	0	1.590	10.0727	Yyn	0.000
1TPR	628.500	410.000	20.000	11.22	47.90	0	0	7.5	0	0	12.0615	YNd	-30.000
2TAG1	38.000	20.000	6.300	10.36	24.60	0	0	7.5	0	0	11.1370	Yyn	0.000
2TAG2	38.000	20.000	6.300	10.36	24.60	0	0	7.5	0	0	11.1370	Yyn	0.000
2TAG4	24.000	20.000	10.500	6.31	16.51	0	0	7.5	0	0	6.7833	Dyn	-30.000
2TAG5	24.000	20.000	10.500	6.31	16.51	0	0	7.5	0	0	6.7833	Dyn	-30.000
2TPR	628.500	410.000	20.000	11.22	47.90	0	0	7.5	0	0	12.0615	YNd	-30.000
PH1	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	7.5	0	0	6.7402	Dyn	-30.000
PH2	2.700	20.000	0.400	6.27	6.00	0	0	7.5	0	0	6.7402	Dyn	-30.000
TSA	0.630	20.000	0.400	5.00	1.50	0	0	7.5	0	0	5.3750	Dyn	-30.000

**2-Winding Transformer Grounding Input Data**

Transformer ID	Rating			Conn.		Primary			Secondary			
	MVA	Prim. kV	Sec. kV	Type	Type	kV	Amp	Ohm	Type	kV	Amp	Ohm
1TAG1	30.000	20.000	6.300	Y/Y	Open				XFMR-Resistor	kV1: 3.695	4.7	777.46390
										kV2: 0.120	144.1	0.82000
1TAG2	30.000	20.000	6.300	Y/Y	Open				XFMR-Resistor	kV1: 3.695	4.8	765.31600
										kV2: 0.120	146.3	0.80719
1TPR	628.500	410.000	20.000	Y/D	Solid							
2TAG1	38.000	20.000	6.300	Y/Y	Open				XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	732.95760
										kV2: 0.137	131.7	1.04000
2TAG2	38.000	20.000	6.300	Y/Y	Open				XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	732.95760
										kV2: 0.137	131.7	1.04000
2TAG4	24.000	20.000	10.500	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 6.062	5.0	1203.9430
										kV2: 0.139	219.6	0.63300
2TAG5	24.000	20.000	10.500	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 6.062	5.0	1203.9430
										kV2: 0.139	219.6	0.63300
2TPR	628.500	410.000	20.000	Y/D	Solid							
PH1	2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
										kV2: 0.137	131.7	0.06603
PH2	2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito mínimo

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 7  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

**2-Winding Transformer Grounding Input Data**

Transformer	Rating			Conn.	Primary				Secondary			
	ID	MVA	Prim. kV		Sec. kV	Type	kV	Amp	Ohm	Type	kV	Amp
PH2	2.700	20.000	0.400	D/Y					XFMR-Resistor	kV1: 3.637	5.0	46.53699
										kV2: 0.137	131.7	0.06603
TSA	0.630	20.000	0.400	D/Y					Solid			

**3-Winding Transformer Input Data**

Transformer	Winding	Rating		Tap		Impedance				Z Variation		Phase Shift	
		ID	MVA	kV	%	% Z	X/R	MVA <sub>b</sub>	% Tol.	+ 5%	- 5%	Type	Angle
0TAA-1	Primary:	360.000	410.000	-4.63	Z <sub>ps</sub> =	15.70	48.37	360.000	7.5	0	0		
	Secondary:	360.000	132.000	0	Z <sub>pt</sub> =	134.40	375.00	360.000	7.5			Special	0.000
	Tertiary:	36.000	6.300	3.17	Z <sub>st</sub> =	126.40	342.00	360.000	7.5			Special	30.000
0TAA-2	Primary:	360.000	410.000	-4.63	Z <sub>ps</sub> =	15.70	48.37	360.000	7.5	0	0		
	Secondary:	360.000	132.000	0	Z <sub>pt</sub> =	134.40	375.00	360.000	7.5			Special	0.000
	Tertiary:	36.000	6.300	3.17	Z <sub>st</sub> =	126.40	342.00	360.000	7.5			Special	30.000
Nuevo_1TAG2	Primary:	52.000	20.000	0	Z <sub>ps</sub> =	17.00	27.44	52.000	7.5	0	0		
	Secondary:	32.000	6.300	0	Z <sub>pt</sub> =	10.00	17.88	52.000	7.5			Std Pos. Seq.	0.000
	Tertiary:	20.000	20.000	0	Z <sub>st</sub> =	30.00	35.50	52.000	7.5			Std Pos. Seq.	-30.000
Nuevo_2TAG2	Primary:	52.000	20.000	0	Z <sub>ps</sub> =	17.00	27.44	52.000	7.5	0	0		
	Secondary:	32.000	6.300	0	Z <sub>pt</sub> =	10.00	17.88	52.000	7.5			Std Pos. Seq.	0.000
	Tertiary:	20.000	20.000	0	Z <sub>st</sub> =	30.00	35.50	52.000	7.5			Std Pos. Seq.	-30.000

**3-Winding Transformer Grounding Input Data**

Transformer	Winding	Rating		Conn.	Grounding			
		ID	MVA		kV	Type	Type	kV
0TAA-1	Primary:	360.000	410.000	Wye	Solid			
	Secondary:	360.000	132.000	Wye	Solid			
	Tertiary:	36.000	6.300	Delta				
0TAA-2	Primary:	360.000	410.000	Wye	Solid			
	Secondary:	360.000	132.000	Wye	Solid			
	Tertiary:	36.000	6.300	Delta				

Project: Central térmica

**ETAP**

Date: 31-08-2018

Location:

12601

Contract:

Revision: Base

Engineer: Rafael Sánchez Hernández

Study Case: SC

Config.: 52\_ab

Filename: SISTEMA DESS 20 MW estudio cortocircuito minimo

Estudio cortocircuito

**3-Winding Transformer Grounding Input Data**

Transformer ID	Winding	Rating		Conn. Type	Grounding			
		MVA	kV		Type	kV	Amp	Ohm
Nuevo_1TAG2	Primary:	52.000	20.000	Wye	Open			
	Secondary:	32.000	6.300	Wye	XFMR-Resistor	kV1: 3.637	4.8	753.24800
						kV2: 0.120	146.4	0.82000
	Tertiary:	20.000	20.000	Delta				
Nuevo_2TAG2	Primary:	52.000	20.000	Wye	Open			
	Secondary:	32.000	6.300	Wye	XFMR-Resistor	kV1: 3.637	4.8	753.24800
						kV2: 0.120	0.0	0.82000
	Tertiary:	20.000	20.000	Delta				

Project:	Central térmica	<b>ETAP</b>	Date:	31-08-2018
Location:		126011	Rev:	0
Contract:			Revision:	Base
Engineer:	Rafael Sánchez Hernández	Study Case:	Config.:	52_ab
Filename:	SISTEMA DESS 20 MW estudio cortocircuitos minimo			

Estudio cortocircuito

**Branch Connections**

CKT/Branch		Connected Bus ID		% Impedance, Pos. Seq., 100 MVAb			
ID	Type	From Bus	To Bus	R	X	Z	Y
1TAG1	2W XFMR	1-BFA	1-A1	1.98	34.71	34.77	
1TAG2	2W XFMR	1-BFA	1-A2	1.98	34.71	34.77	
1TPR	2W XFMR	SE_400kV	1-BFA	0.04	1.96	1.96	
2TAG1	2W XFMR	2-BFA	2-A1	1.23	30.14	30.16	
2TAG2	2W XFMR	2-BFA	2-A2	1.23	30.14	30.16	
2TAG4	2W XFMR	2-BFA	2-A4	1.80	29.76	29.82	
2TAG5	2W XFMR	2-BFA	2-A5	1.80	29.76	29.82	
2TPR	2W XFMR	SE_400kV	2-BFA	0.04	1.96	1.96	
PH1	2W XFMR	Bus44	Bus43	41.36	248.16	251.59	
PH2	2W XFMR	Bus45	Bus22	41.36	248.16	251.59	
TSA	2W XFMR	Bus_BAT 20kV	Bus5	483.01	724.52	870.76	
0TAA-1	3W Xfmr	Bus23	Bus29	0.10	4.79	4.79	
	3W Xfmr	Bus23	Bus30	-2.62	145.34	145.37	
	3W Xfmr	Bus29	Bus30	0.50	51.44	51.44	
0TAA-2	3W Xfmr	Bus24	Bus31	0.10	4.79	4.79	
	3W Xfmr	Bus24	Bus32	-2.62	145.34	145.37	
	3W Xfmr	Bus31	Bus32	0.50	51.44	51.44	
Nuevo_1TAG2	3W Xfmr	Bus25	Bus1	1.96	32.12	32.18	
	3W Xfmr	Bus25	Bus3	1.46	20.48	20.53	
	3W Xfmr	Bus1	Bus3	-74.44	-298.09	307.25	
Nuevo_2TAG2	3W Xfmr	Bus28	Bus2	1.96	32.12	32.18	
	3W Xfmr	Bus28	Bus4	1.46	20.48	20.53	
	3W Xfmr	Bus2	Bus4	-74.44	-298.09	307.25	
Cable1	Cable	Bus1	1-A2	0.13	0.29	0.32	0.0018305
Cable3	Cable	2-A2	Bus2	0.21	0.29	0.36	
Cable4	Cable	Bus3	Bus_BAT 20kV	0.17	0.35	0.39	0.0294750
Cable9	Cable	CMT-1	Bus44	0.09	0.12	0.15	0.0009997
Cable10	Cable	CMT-1	Bus45	0.09	0.12	0.15	0.0009997
Cable12	Cable	1-A3	0A	0.18	0.39	0.43	0.0035146
Cable14	Cable	0A	2-A3	0.09	0.25	0.27	0.0033947
Cable17	Cable	SE_400kV	Bus23	0.00	0.00	0.00	0.0073040
Cable19	Cable	SE_400kV	Bus24	0.00	0.00	0.00	0.0073040
Cable20	Cable	1-BFA	Bus25	0.00	0.00	0.00	0.0000602
Cable21	Cable	2-BFA	Bus28	0.01	0.00	0.01	0.0000174
Cable24	Cable	Bus5	Bus 400V	33.41	41.17	53.02	0.0000001
Cable25	Cable	SE_132kV	Bus29	0.00	0.00	0.00	0.0007571
Cable26	Cable	Bus30	0A	0.14	0.04	0.15	0.0000017

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito mínimo

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 10  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

CKT/Branch		Connected Bus ID		% Impedance, Pos. Seq., 100 MVAb			
ID	Type	From Bus	To Bus	R	X	Z	Y
Cable27	Cable	SE_132kV	Bus31	0.00	0.00	0.00	0.0007571
Cable28	Cable	Bus32	0A	0.14	0.04	0.15	0.0000017
Cable29	Cable	Bus 400V	Bus56	1429.58	444.22	1497.01	0.0000003
Cable30	Cable	Bus 400V	Bus57	348.68	108.35	365.12	0.0000001
52-B1	Tie Breakr	Bus_BAT 20kV	CMT-1				
CB108	Tie Breakr	1-A3	1-A1				
CB110	Tie Breakr	1-A2	1-A3				
CB131	Tie Breakr	2-A1	2-A3				
CB132	Tie Breakr	2-A3	2-A2				

Project:	Central térmica	<b>ETAP</b>	Date:	11
Location:		12.6.01	Date:	31-08-2018
Contract:			EN:	
Engineer:	Dafael Sánchez Hernández	Study Case: SC	Revision:	Base
Filename:	SISTEMA DESS 20 MW estudio cortocircuitos mínimo		Config.:	52_ab

Estudio cortocircuito

### Power Grid Input Data

Power Grid ID	Connected Bus ID	Rating		% Impedance 100 MVA Base			Grounding Type
		MVASC	kV	R	X"	R/X"	
Red_132kV	SE_132kV	3429.500	132.000	0.70720	2.82882	0.25	Wye - Solid
Red_400kV	SE_400kV	10600.000	400.000	0.10316	0.93774	0.11	Wye - Solid

Total Connected Power Grids (= 2): 14029.500 MVA

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito mínimo

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 12  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

### Induction Machine Input Data

Induction Machine			Connected Bus		Rating					PosSeqImp (Mtr Base)			Grounding			mFact.
ID	Type	Qty	ID		HP/kW	kVA	kV	Amp	PF	% R	% X"	R/X"	Conn.	Type	Amp	MW/PP
1-VTI_A	Motor	1	1-A1		5250.00	5957.14	6.000	573.23	93.17	1.40	15.32	0.09	Wye	Open		2.63
1-BAC_A	Motor	1	1-A1		2024.00	2318.28	6.000	223.08	92.78	1.82	15.28	0.12	Wye	Open		1.01
1-VTI_B	Motor	1	1-A2		5250.00	5957.14	6.000	573.23	93.17	1.40	15.32	0.09	Wye	Open		2.63
1-BAC_B	Motor	1	1-A2		2024.00	2318.28	6.600	202.80	92.78	1.82	15.28	0.12	Wye	Open		1.01
1-BC	Motor	1	1-A3		1200.00	1381.56	6.000	132.94	92.57	2.10	15.24	0.14	Wye	Open		0.60
VB_DES	Motor	1	1-A3		5770.00	6540.92	6.000	629.40	93.21	1.36	15.32	0.09	Wye	Open		2.89
2-BAC_A	Motor	1	2-A1		2250.00	2574.39	6.000	247.72	92.83	1.77	15.28	0.12	Wye	Open		1.13
2-VAP_A	Motor	1	2-A1		1739.00	1994.83	6.000	191.95	92.72	1.90	15.27	0.12	Wye	Open		0.87
2-BAC_B	Motor	1	2-A2		2250.00	2574.39	6.000	247.72	92.83	1.77	15.28	0.12	Wye	Open		1.13
2-VAP_B	Motor	1	2-A2		1739.00	1994.83	6.000	191.95	92.72	1.90	15.27	0.12	Wye	Open		0.87
2-BC	Motor	1	2-A3		1200.00	1381.56	6.000	132.94	92.57	2.10	15.24	0.14	Wye	Open		0.60
2-VTI-A	Motor	1	2-A4		8420.00	9833.69	10.000	567.75	88.00	3.94	19.66	0.20	Wye	Open		2.81
2-VTI-B	Motor	1	2-A5		8420.00	9833.69	10.000	567.75	88.00	3.94	19.66	0.20	Wye	Open		2.81

Total Connected Induction Machines (= 13 ): 54660.7 kVA

### Lumped Load Input Data

Lumped Load	Lumped Load						Motor Loads									
	ID	Rating			% Load		Loading		% Impedance Machine Base			Grounding			mFact.	
		kVA	kV	Amp	% PF	MTR	STAT	kW	kvar	R	X"	R/X"	Conn.	Type		Amp
Cargas 1A1	19000.0	6.000	1828.28	74.16	80	20	11272.36	10196.76	1.81	18.09	0.10	Delta			11.27	
Cargas 1A2	19000.0	6.000	1828.28	74.16	80	20	11272.37	10196.75	1.81	18.09	0.10	Delta			11.27	
Cargas 1A3	11000.0	6.000	1058.48	73.66	80	20	6482.06	5951.72	1.81	18.09	0.10	Delta			6.48	
Cargas_2A1	14000.0	6.000	1347.15	70.00	80	20	7840.00	7998.40	1.81	18.09	0.10	Delta			7.84	
Cargas_2A2	14000.0	6.000	1347.15	70.00	80	20	7840.00	7998.40	1.81	18.09	0.10	Delta			7.84	
Cargas_2A3	13000.0	6.000	1250.93	70.39	80	20	7320.47	7387.20	1.81	18.09	0.10	Delta			7.32	
Cargas 400V	527.0	0.400	760.66	74.16	80	20	312.66	282.83	7.04	16.76	0.42	Delta			0.31	
Cargas_OA	7000.0	6.000	673.58	80.00	80	20	4480.00	3360.00	1.81	18.09	0.10	Delta			4.48	

Total Connected Lumped Loads (= 8 ): 97527.0 kVA

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito mínimo

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 13  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

**SHORT-CIRCUIT REPORT**

Fault at bus: **Bus 400V**  
 Nominal kV = 0.400  
 Voltage c Factor = 0.95 (Minimum If)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	I3I0	R1	X1	R0	X0
Bus 400V	Total	0.00	17.807	0.00	103.06	105.16	16.424	16.424	4.46E+002	6.75E+002	5.88E+002	8.26E+002
Bus5	Bus 400V	5.61	15.241	8.98	101.86	102.33	14.846	16.424	5.18E+002	7.91E+002	5.88E+002	8.26E+002
Bus56	Bus 400V	26.67	2.567	16.40	102.92	112.94	1.578	0.000	3.18E+003	4.62E+003		
Bus57	Bus 400V	0.00	0.000	0.00	103.06	105.16	0.000	0.000				
Bus_BAT 20kV	Bus5	97.71	15.241	99.31	98.59	100.00	14.846	16.424*	4.85E+002	7.49E+002	4.83E+002	7.25E+002
Cargas 400V	Bus56	100.00	2.567	100.00	100.00	100.00	1.578	0.000	1.76E+003	4.18E+003		
Bus3	Bus_BAT 20kV	97.75	0.305	99.33	98.61	100.00	0.162	0.000	4.63E+002	1.78E+002		
Bus44	CMT-1	97.71	0.000	99.31	98.59	100.00	0.000	0.000				
Bus45	CMT-1	97.71	0.000	99.31	98.59	100.00	0.000	0.000				
# Bus25	Bus3	99.77	0.328	99.86	99.93	100.00	0.175	0.000	4.28E+002	1.71E+002		
# Bus1	Bus3	99.92	0.024	99.95	99.98	100.00	0.013	0.000	5.43E+003	3.39E+003		
Bus43	Bus44	97.71	0.000	98.60	99.29	100.01	0.000	0.000				
Bus22	Bus45	97.71	0.000	98.60	99.29	100.01	0.000	0.000				
1-BFA	Bus25	99.77	0.312	99.86	99.93	100.00	0.192	0.000	1.39E+001	2.50E+000		
# Bus1	Bus25	99.92	0.016	99.95	99.98	100.00	0.010	0.000	5.21E+000	4.70E+001		
1-A2	Bus1	104.92	0.024	104.95	104.98	105.00	0.015	0.000	1.92E+001	2.71E+001		

	3-Phase	L-G	L-L	L-L-G
Initial Symmetrical Current (kA, rms)	17.807	16.424	15.422	17.374
Peak Current (kA), Method C	29.095	26.834	25.197	28.386
Breaking Current (kA, rms, symm)		16.424	15.422	17.374
Steady State Current (kA, rms)	15.240	16.424	15.422	17.374

# Indicates a fault current contribution from a three-winding transformer  
 \* Indicates a zero sequence fault current contribution (3I0) from a grounded Delta-Y transformer

**ETAP**  
12.6.0H

Page: 14  
Date: 31-08-2018  
SN:  
Revision: Base  
Config.: 52\_ab

Location:  
Contract:  
Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito mínimo

Study Case: SC

Estudio cortocircuito

Fault at bus: **Bus\_BAT 20kV**  
Nominal kV = 20.000  
Voltage c Factor = 1.00 (Minimum If)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	I30	R1	X1	R0	X0
Bus_BAT 20kV	Total	0.00	12.163	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000	1.60E+000	2.49E+001		
Bus3	Bus_BAT 20kV	1.55	12.123	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000	1.55E+000	2.50E+001		
Bus5	Bus_BAT 20kV	13.32	0.046	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	3.70E+003	5.39E+003		
Bus44	CMT-1	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
Bus45	CMT-1	0.00	0.000	0.00	173.21	173.21	0.000	0.000				
# Bus25	Bus3	89.77	13.048	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.60E+000	2.29E+001		
# Bus1	Bus3	96.71	0.941	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	7.80E+001	3.08E+002		
Bus 400V	Bus5	14.13	2.320	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	5.42E+003	2.09E+003		
Bus43	Bus44	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
Bus22	Bus45	0.00	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
1-BFA	Bus25	89.78	12.393	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.21E+001	1.66E+000		
# Bus1	Bus25	96.71	0.656	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	2.27E+002	4.39E+001		
1-A2	Bus1	101.52	0.956	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	3.85E+002	3.44E+002		
Bus56	Bus 400V	35.06	2.320	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	5.38E+003	2.05E+003		
Bus57	Bus 400V	14.13	0.000	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000				
1-A1	1-BFA	101.52	0.604	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	2.46E+002	4.69E+001		
1-A2	1-BFA	101.52	0.604	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	2.46E+002	4.69E+001		
SE_400kV	1-BFA	99.44	11.186	102.50	102.50	102.50	0.000	0.000	1.34E+001	1.77E+000		
1-VTI_B	1-A2	105.00	0.130	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	2.23E+001	2.45E+002		
1-BAC_B	1-A2	95.45	0.042	95.45	95.45	95.45	0.000	0.000	9.04E+001	7.60E+002		
Cargas 1A2	1-A2	105.00	0.281	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.13E+001	1.13E+002		
0A	1-A3	101.59	1.729	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	2.81E+002	5.20E+001		
1-BC	1-A3	105.00	0.030	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.45E+002	1.05E+003		
VB_DES	1-A3	105.00	0.143	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.98E+001	2.23E+002		
Cargas 1A3	1-A3	105.00	0.163	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.96E+001	1.96E+002		
Cargas 400V	Bus56	100.00	2.320	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.76E+003	4.18E+003		
1-VTI_A	1-A1	105.00	0.130	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	2.23E+001	2.45E+002		
1-BAC_A	1-A1	105.00	0.051	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	7.47E+001	6.28E+002		
Cargas 1A1	1-A1	105.00	0.281	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	1.13E+001	1.13E+002		
Bus23	SE_400kV	97.01	0.038	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.86E+000	1.15E+001		

Project: Central térmica  
 Location:  
 Contract:  
 Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
 Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito mínimo

**ETAP**  
 12.6.0H

Study Case: SC

Page: 15  
 Date: 31-08-2018  
 SN:  
 Revision: Base  
 Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

(Cont.)

Fault at bus: **Bus\_BAT 20kV**  
 Nominal kV = 20.000  
 Voltage c Factor = 1.00 (Minimum If)

Contribution		3-Phase Fault		Line-To-Ground Fault					Positive & Zero Sequence Impedances Looking into "From Bus"			
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Symm. rms	% Voltage at From Bus			kA Symm. rms		% Impedance on 100 MVA base			
				Va	Vb	Vc	Ia	3I0	R1	X1	R0	X0
Bus24	SE_400kV	97.01	0.038	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.86E+000	1.15E+001		
2-BFA	SE_400kV	97.02	0.001	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	3.03E+002	1.04E+002		
Red_400kV	SE_400kV	102.50	0.469	102.50	102.50	102.50	0.000	0.000	1.03E-001	9.38E-001	9.77E-001	8.88E+000
2-A3	0A	101.62	1.033	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	4.71E+002	8.27E+001		
Bus30	0A	96.75	0.298	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.63E+003	3.24E+002		
Bus32	0A	96.75	0.298	100.00	100.00	100.00	0.000	0.000	1.63E+003	3.24E+002		
Cargas_OA	0A	105.00	0.101	105.00	105.00	105.00	0.000	0.000	3.08E+001	3.08E+002		

	3-Phase	L-G	L-L	L-L-G
Initial Symmetrical Current (kA, rms)	12.163	0.000	10.534	10.534
Peak Current (kA), Method C	31.371	0.000	27.168	27.168
Breaking Current (kA, rms, symm)		0.000	10.534	10.534
Steady State Current (kA, rms)	12.089	0.000	10.534	10.534

# Indicates a fault current contribution from a three-winding transformer  
 \* Indicates a zero sequence fault current contribution (3I0) from a grounded Delta-Y transformer

Project: Central térmica  
Location:  
Contract:  
Engineer: Rafael Sánchez Hernández  
Filename: SISTEMA BESS 20 MW estudio cortocircuito mínimo

**ETAP**  
12.6.0H

Study Case: SC

Page: 16  
Date: 31-08-2018  
SN:  
Revision: Base  
Config.: 52\_ab

Estudio cortocircuito

### Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus		3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault				*Line-to-Line-to-Ground			
ID	kV	I <sup>m</sup> k	ip	Ik	I <sup>m</sup> k	ip	Ib	Ik	I <sup>m</sup> k	ip	Ib	Ik	I <sup>m</sup> k	ip	Ib	Ik
Bus 400V	0.400	17.807	29.095	15.240	16.424	26.834	16.424	16.424	15.422	25.197	15.422	15.422	17.374	28.386	17.374	17.374
Bus_BAT 20kV	20.000	12.163	31.371	12.089	0.000	0.000	0.000	0.000	10.534	27.168	10.534	10.534	10.534	27.168	10.534	10.534

All fault currents are in rms kA. Current ip is calculated using Method C.

\* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents.

<b>Project:</b>	Central térmica	<b>FTAP</b>	<b>Date:</b>	17
<b>Location:</b>		10.6.011	<b>Date:</b>	21.09.2019
<b>Contract:</b>			<b>EN:</b>	
<b>Engineer:</b>	Dafael Sánchez Hernández		<b>Division:</b>	Dava
<b>Filename:</b>	SISTEMA DESS 20 MW estudio cortocircuitos minimo	<b>Study Case:</b> SC	<b>Conf:</b>	52.oh

Estudio cortocircuito

#### Sequence Impedance Summary Report

Bus		Positive Seq. Imp. (ohm)			Negative Seq. Imp. (ohm)			Zero Seq. Imp. (ohm)			Fault Zf (ohm)		
ID	kV	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance
Bus 400V	0.400	0.00679	0.01028	0.01232	0.00679	0.01028	0.01232	0.00896	0.01258	0.01544	0.00000	0.00000	0.00000
Bus_BAT 20kV	20.000	0.06086	0.94740	0.94936	0.06087	0.94736	0.94932				0.00000	0.00000	0.00000

# BIBLIOGRAFÍA

---

1. **Red Eléctrica de España.** [En línea] <http://www.ree.es/es/sostenibilidad/proyectos-destacados/proyectos-de-idi-de-contribucion-al-negocio/proyecto-almacena>.
2. **GRIDSOL.** [En línea] <http://www.gridsolproject.eu/>.
3. **TESLA.** Tesla Powerpack to enable large scale sustainable energy to South Australia. [En línea] 2017. [https://www.tesla.com/es\\_ES/blog/Tesla-powerpack-enable-large-scale-sustainable-energy-south-australia](https://www.tesla.com/es_ES/blog/Tesla-powerpack-enable-large-scale-sustainable-energy-south-australia).
4. *BESS Overview.* **ABB Group.** Chicago : s.n., 2012. IEEE PES meeting.
5. **ABB Group.** The power to control energy. *revista.* 2014, pág. 12.
6. **Red Eléctrica de España.** Red Eléctrica de España. [En línea] Enero de 2018. [www.REE.es](http://www.REE.es).
7. **Ministerio de Industria, Energía y Turismo.** Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales. *Real Decreto 2267/2004.* 2004.
8. **Real Decreto 487.** *Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.* 14 de Abril de 1997.
9. **Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y Ministerio de la Vivienda.** Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. *Real Decreto 1027/2007.* 2007.
10. **Ministerio de Fomento.** Código Técnico de la Edificación. *Real Decreto 314/2006.* 2006.
11. **Ministerio de Industria, Energía y Turismo.** Reglamento de Alta Tensión (RAT). *Real Decreto 337/2014.* 2014.
12. —. Reglamento de Líneas de Alta Tensión (RLAT). *Real Decreto 223/2008.* 2008.
13. —. Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. *Real Decreto 1053/2014.* 2014.
14. **AENOR.** Instalaciones eléctricas de baja tensión. Selección e instalación de equipos eléctricos. *UNE-HD-60364-5-52 :2014.* 2014.
15. **European Union.** Reglamento Europeo de productos de construcción . *305/2011.* 2011.
16. **Voltimum.** Clasificación elementos constructivos según el CPR. [En línea] [www.voltimum.es](http://www.voltimum.es).
17. **AENOR.** UNE 211435. *Guía para la elección de cables eléctricos de tensión asignada superior o igual a 0,6/1 kV para circuitos de distribución de energía eléctrica.* 2011.
18. —. Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivo de cebado. *UNE 21186.* 2011.
19. **IEC.** Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna. *IEC 60909.*
20. **ANSI /IEEE Standard C37.2.** Standard for Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms, and Contact Designations.