



**UNIVERSITAT
JAUME·I**

UNIVERSITAT JAUME I

**ESCUELA SUPERIOR DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS EXPERIMENTALES
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**ANÁLISIS DE CAUSAS Y SOLUCIONES PARA
EL DISPARO INTEMPESTIVO DE LAS
PROTECCIONES DE GRUPOS
ELECTRÓGENOS**

TRABAJO FIN DE GRADO

AUTOR

Eduardo Aguilar Rodríguez

TUTOR

Emilio Pérez Soler

Castellón, septiembre de 2016

ÍNDICE GENERAL

1. MEMORIA.....	5
1.1. OBJETO.....	7
1.2. ALCANCE.....	8
1.3. ANTECEDENTES.....	8
1.4. NORMAS Y REFERENCIAS APLICABLES.....	10
1.4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas.....	10
1.4.2. Programas de cálculo.....	13
1.5. ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	13
1.5.1. Grupo electrógeno.....	13
1.5.1.1. Descripción general.....	14
1.5.1.2. Funcionamiento.....	14
1.5.1.3. Componentes.....	16
1.5.1.3.1. Motor de combustión.....	18
1.5.1.3.2. Generador síncrono.....	19
1.5.1.3.3. Módulo de control.....	44
1.5.1.3.4. Tarjeta AVR.....	54
1.5.1.4. Selección del grupo electrógeno.....	56
1.5.1.5. Diagrama P-Q del alternador.....	64
1.5.2. Transformador.....	66
1.5.2.1. Descripción general.....	66
1.5.2.2. Corriente de Inrush.....	69
1.5.2.3. Distorsión armónica.....	71
1.5.3. Cables subterráneos de media tensión.....	72
1.5.3.1. Componentes de un cable aislado.....	73
1.5.3.2. Efecto capacitivo de las líneas subterráneas.....	81
1.5.3.3. Cables instalados en Iberdrola.....	82
1.5.3.3.1. Identificación de los cables instalados.....	83
1.5.3.3.2. Tabla con los tipos de cables instalados y sus características eléctricas.....	90
1.5.4. Conclusiones.....	92
1.6. IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO.....	93
1.6.1. Introducción.....	93
1.6.2. Ensayo experimental.....	94
1.6.2.1. Descripción general.....	94
1.6.2.2. Análisis del generador síncrono.....	94
1.6.2.3. Selección del emplazamiento.....	97
1.6.2.4. Cálculo de la potencia capacitiva de las líneas.....	98
1.6.2.5. Procedimiento del ensayo.....	102
1.6.2.6. Procedimiento petición del ensayo.....	104
1.6.2.7. Descripción del ensayo.....	104
1.6.2.8. Resultados.....	109
1.6.3. Modelo de simulación.....	114
1.6.3.1. Programa de simulación.....	115
1.6.3.2. Modelo de simulación.....	116
1.6.3.3. Validación del modelo.....	121
1.6.4. Simulación de las causas de disparo.....	129
1.7. ANÁLISIS DE POSIBLES SOLUCIONES.....	133
1.7.1. Propuestas teóricas.....	133
1.7.1.1. Colocación de Inductancias de compensación.....	133
1.7.1.2. Tabla con la potencia reactiva que genera cada cable por kilómetro.....	134

1.7.1.3. Interruptor automático con relé electrónico	137
1.7.2. Simulación de la conexión de inductancias de compensación.....	140
1.8. CONCLUSIONES	142
2. ANEXOS.....	145
2.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL GENERADOR SÍNCRONO DEL ENSAYO EXPERIMENTAL	147
2.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MÓDULO DE CONTROL Qc4001	155
3. PLANOS	159
3.1. ÍNDICE DE PLANOS	161
4. PLIEGO DE CONDICIONES	168
4.1. OBJETO.....	170
4.2. CAMPO DE APLICACIÓN	170
4.3. CARACTERÍSTICAS Y CALIDAD DE EQUIPOS Y MATERIALES	171
4.3.1. Definición y clasificación de las instalaciones eléctricas	171
4.3.2. Grupo electrógeno	171
4.3.3. Cuadro de automatismo del grupo electrógeno.....	173
4.3.3.1. Construcción	173
4.3.3.2. Disposición de los aparatos.....	173
4.3.3.4. Cableado y conexionado	174
4.3.3.5. Conductores	175
4.4. CONDICIONES DE EJECUCIÓN Y MONTAJE.....	175
4.4.1. Condiciones generales.....	175
4.4.2. Depósito de materiales	176
4.4.3. Grupo electrógeno.....	177
4.4.3.1. Montaje	177
4.4.3.2. Refrigeración.....	178
4.4.3.3. Escape	178
4.4.3.4. Ruidos	178
4.4.3.5. Depósito de combustible.....	179
4.4.3.6. Protección eléctrica del grupo electrógeno	179
4.4.3.7. Enclavamiento.....	179
4.4.3.8. Ventilación	180
4.4.3.9. Iluminación y otras medidas correctoras.....	180
4.5. RECONOCIMIENTOS, PRUEBAS Y ENSAYOS	180
4.5.1. Reconocimiento de las obras.....	180
4.5.2. Pruebas y ensayos	181
4.6. CONDICIONES DE MANTENIMIENTO Y USO	182
4.6.1. Conservación.....	184
4.6.2. Reparación. Reposición.....	185
4.7. INSPECCIONES PERIÓDICAS	185
5. PRESUPUESTO	186
5.1. JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS.....	188
5.2. PRESUPUESTO PARCIAL	191
5.3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	193
5.4. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA.....	193
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	194

1. MEMORIA

.

1.1. OBJETO

Actualmente, prácticamente toda la red de distribución de Iberdrola esta anillada salvo en algunas zonas.

Ocasionalmente, en caso de averías o reformas se alquilan grupos electrógenos para alimentar a aquellas zonas que no están anilladas, zonas en isla.

Dichos grupos alimentan al centro de transformación por la parte de baja tensión alimentando en media tensión a los distintos centro de transformación que se quieran alimentar.

En muchos casos, sin motivo aparente, saltan las protecciones de los grupos electrógenos al alimentar a dichas zonas.

Iberdrola en algunas ocasiones lo soluciona alquilando grupos de mayor potencia, o alquilando varios grupos electrógenos.

El objeto del proyecto es analizar el comportamiento del grupo electrógeno a la hora de alimentar cargas aisladas de la red para ver qué efectos motivan los disparos del interruptor de protección del grupo. Para ello, se realizará un estudio del funcionamiento del generador síncrono y de los posibles fenómenos eléctricos que pueden ocurrir en el sistema a la hora de alimentar a dichas cargas.

Una vez analizados los posibles fenómenos que causan el disparo del interruptor de protección, se procederá a analizar el comportamiento del sistema mediante un ensayo experimental en un polígono de Castellón en el que, con la ayuda de un analizador de redes, se podrá observar el fenómeno que hace disparar la protección del grupo electrógeno, analizándolo y viendo qué lo genera.

Además, se proseguirá con la realización de un modelo de simulación en el que se pretenderá entender con más detalle lo ocurrido.

Por último, se buscarán posibles soluciones al problema.

1.2. ALCANCE

El ámbito de aplicación del proyecto es aplicable para cualquier grupo electrógeno de gran potencia que vaya a alimentar cargas capacitivas aisladas de la red.

1.3. ANTECEDENTES

El motivo de la elaboración de este proyecto es que se conoce que ha habido diversas incidencias relacionadas con grupos electrógenos y se pretende dar una explicación técnica al funcionamiento inesperado del grupo electrógeno en diversas circunstancias.

Se han identificado fundamentalmente dos situaciones en las que un grupo electrógeno puede disparar:

a) Alimentación en isla durante una avería a través de redes subterráneas.

El centro de transformación “TORREBLANCA” se alimenta en 20kV desde la subestación “Ingenio”. Dispone de un único transformador de potencia de 630kVA con doble secundario B1/B2, de características:

Potencia: 630kVA, Dy11, $U_{cc}=3,7\%$

MT: 21/20,5/20/19,5/19 kV

B1: 230V, 1187A - 472KVA

B2: 398V, 914A - 630KVA

En 2006, a raíz de una avería en la línea subterránea de media tensión (MT) que alimentaba este centro de transformación, situado en punta, surgieron una serie de problemas al intentar dar servicio mediante un grupo electrógeno (G.E.) a los clientes en baja tensión (BT) que colgaban de este centro y al resto de centros de transformación que colgaban de este:

- La potencia del G.E. destinado a dar continuidad de servicio era de 800 KVA. La salida del grupo se corresponde a B2 (398V), pero el trafo está instalado en B1/B2, repartiéndose los abonados entre ambos niveles de tensión.
- Se realizó la conexión del G.E. a las bornas de B2 del trafo, de forma que las cargas de B2 fueran alimentadas directamente desde este punto, y las cargas del B1 fueran alimentadas por el mismo trafo, utilizándolo para reducir el nivel de tensión a través de las tomas intermedias del bobinado de BT. Por la parte de MT se alimentó a los centros de transformación que colgaban de este siendo la potencia del G.E. suficiente.
- Una vez realizadas todas las conexiones, se procedió a la apertura de todas las cargas para reducir la intensidad en el momento del cierre del interruptor automático del grupo. Se fueron metiendo cargas de forma progresiva, pero el interruptor del G.E. disparó repetidas veces.

Como conclusión dedujeron que los disparos del interruptor automático podían ser causador por algún fallo del grupo electrógeno.

b) Alimentación a clientes de media tensión con compensación de reactiva.

Desde el endurecimiento de la legislación y el incremento de las penalizaciones a las instalaciones con un factor de potencia muy inductivo, los clientes han respondido instalando en la red un gran número de baterías de condensadores.

Lo más correcto es la instalación de baterías de condensadores automáticas, que varíen la potencia reactiva suministrada en función de la carga en cada momento. No obstante, debido a su elevado coste, es habitual encontrar cliente de media tensión con baterías fijas de condensadores para compensación de reactiva, que son mucho más baratas. Esta baterías suelen estar dimensionadas para compensar la reactiva del transformador de cliente o bien de algún motor de gran potencia, pero considerando un funcionamiento a plena carga. Esto significa que en momentos de baja carga el cliente puede suponer una carga capacitiva, ya que vierte la potencia reactiva sobrante a la red. A pesar de que el reglamento de baja tensión no permite el funcionamiento capacitivo de una instalación, es algo muy habitual.

Electrogrup es una empresa especializada en el trabajo con grupos electrógenos.

Alquiler y transporte, venta e instalación de equipos nuevos, mantenimiento y servicio técnico son los servicios que ofrecen.

El gerente de la empresa informó de los fallos que han tenido con grupos electrógenos, recalcando los múltiples disparos intempestivos que sufren a la hora de alimentar a grandes clientes con compensación de reactiva.

La centralita del grupo electrógeno mostraba que el disparo había sido por picos de corriente en algunas ocasiones, otras por pérdida de excitación y muchas otras por sobretensión.

Sin tener una explicación lógica de lo que ocurría, lo solucionaban cambiando el grupo electrógeno por otro de mayor potencia.

En el apartado 1.5. se va a proceder a explicar el funcionamiento de un grupo electrógeno en las distintas casuísticas mencionadas, pero antes es necesario hacer una breve explicación de los principios de funcionamiento de un grupo electrógeno.

1.4. NORMAS Y REFERENCIAS APLICABLES

1.4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

En la redacción de este proyecto se ha tenido en cuenta todas las especificaciones relativas a las Instalaciones Proyectadas contenida en los Reglamentos y disposiciones oficiales.

- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica (BOE nº 310, de 27/12/00).
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, aprobado por Decreto 842/2002 de 2 de agosto, publicado en el B.O.E del 18/9/2002.

NORMAS Y REFERENCIAS APLICABLES

- Reglamento de Líneas Eléctricas de Alta Tensión (RLAT), aprobado por Real Decreto 223/2008 de 15 de febrero, publicado en el B.O.E. nº 68 de 19 de marzo de 2008.
- Normas UNE.
- Recomendaciones UNESA.
- Se tendrán en cuenta las Ordenanzas Municipales y los condicionados impuestos por los Organismos públicos afectados.
- Con relación a la Seguridad:
 - Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborables del 8 de Noviembre.
 - Real Decreto 39/1997, de 17 de Enero. Reglamento de los servicios de Prevención.
 - Real Decreto 485/1997 (Señalización de Seguridad).
 - Real Decreto 486/1997 (Lugares de Trabajo).
 - Real Decreto 487/1997 (Manipulación de Cargas).
 - Real Decreto 773/1997 (Protección Individual).
 - Real Decreto 1215/1997 (Equipos de Trabajo).
 - Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre. Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud en las obras de construcción.

NORMAS Y REFERENCIAS APLICABLES

- Normas particulares de IBERDROLA, aprobadas según resolución de la Dirección General de Energía de 11 de marzo de 2011 (DOGV núm. 6489, de 28 de marzo de 2011):
 - MT 2.03.20 Normas particulares para instalaciones de alta tensión (hasta 30 kV) y baja tensión.
 - MT 2.11.01 Proyecto tipo para centro de transformación de superficie.
 - MT 2.31.01 Proyecto tipo de Línea Subterránea de AT hasta 30 kV.
 - MT 2.51.01 Proyecto tipo de línea subterránea de baja tensión.
 - NI 50.42.11 Celdas de alta tensión bajo envolvente metálica hasta 36 kV, prefabricadas, con dieléctrico de SF6, para CT.
 - NI 56.43.01 Cables unipolares con aislamiento seco de etileno propileno de alto módulo y cubierta de poliolefina (HEPRZ1) para redes de AT hasta 30 kV.
 - NI 56.43.02 Cables unipolares con aislamiento seco de polietileno reticulado (XLPE) y cubierta de compuesto de poliolefina (Z1) para redes de AT hasta 30 kV.
 - NI 56.80.02 Accesorios para cables subterráneos de tensiones asignadas de 12/20 (24) kV hasta 18/30 (36) kV. Cables con aislamiento seco.
 - NI 72.30.00 Transformadores trifásicos sumergidos en aceite para distribución en baja tensión.

1.4.2. Programas de cálculo

Para la elaboración de la simulación se ha empleado del programa Simulink, que se integra con MATLAB.

Para el cálculo del presupuesto se ha utilizado el programa Arquímedes.

1.5. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

Para analizar las posibles causas que originan el disparo de la protección del grupo hay que analizar con detalle cada elemento que interviene a la hora de alimentar una red aislada de distribución con grupo electrógeno.

Los principales elementos a considerar son:

- Grupo electrógeno.
- Transformador.
- Líneas subterráneas de MT.

En adelante se estudiarán en detalle cada uno de ellos.

1.5.1. Grupo electrógeno

En este apartado se van a analizar los principales elementos del grupo electrógeno que nos servirá de ayuda para analizar y entender las posibles causas del disparo de las protecciones del grupo.

1.5.1.1. Descripción general

Un grupo electrógeno es un conjunto de máquinas rotativas, eléctricas y de combustión, acopladas mediante un eje mecánico, capaces de transformar la energía térmica procedente del combustible en energía mecánica en forma de giro del eje, y a su vez esta energía eléctrica en forma de corriente alterna.

Los grupos electrógenos, básicamente, cuentan con un motor de tipo térmico acoplado a un generador de corriente. De este modo la energía química disponible en el combustible es convertida en energía mecánica de rotación en el motor térmico y esta es aprovechada por el generador para obtener energía eléctrica.

Es el sistema idóneo para funcionar como sistema auxiliar para momentos de déficit de una instalación, o bien para cubrir determinados consumos que se prefiere que no pasen a través de la misma.

1.5.1.2. Funcionamiento

Una buena manera de explicar el funcionamiento del grupo electrógeno es describiendo cada uno de sus principales componentes y su relación con el resto de componentes.

El sistema de arranque de grupos electrógenos de gran potencia es eléctrico. Consiste en un motor eléctrico de 12 ó 24 V de corriente continua accionado por una o varias baterías de plomo-ácido.

Cuando las condiciones de frío en el ambiente son intensas se dispone de un dispositivo calefactor denominado resistencia de precalentamiento que ayuda al arranque del motor. Los grupos electrógenos refrigerados por aire suelen emplear un radiador eléctrico, el cual se pone debajo del motor, de tal manera que mantiene el aceite a una cierta temperatura. En los motores refrigerados por agua la resistencia de precaldeo va acoplada al circuito de refrigeración, ésta resistencia se alimenta de 220Vca y calienta el agua de refrigeración para calentar el motor. Ésta resistencia dispone de un termostato

ajustable; en él seleccionamos la temperatura adecuada para que el grupo arranque en breves segundos.

El motor de combustión representa la fuente de energía mecánica para que el generador síncrono gire y genere electricidad. Generalmente los motores diesel son los más utilizados por sus prestaciones mecánicas, ecológicas y económicas.

Consta de un regulador mecánico diseñado para mantener una velocidad constante del motor con relación a los requisitos de carga. La velocidad del motor está directamente relacionada con la frecuencia de salida del generador, por lo que cualquier variación de la velocidad del motor afectará a la frecuencia de la potencia de salida.

Dicho motor está acoplado al generador síncrono mediante una bancada de acero de gran resistencia, con un depósito de combustible con una capacidad mínima de 8 horas de funcionamiento a plena carga.

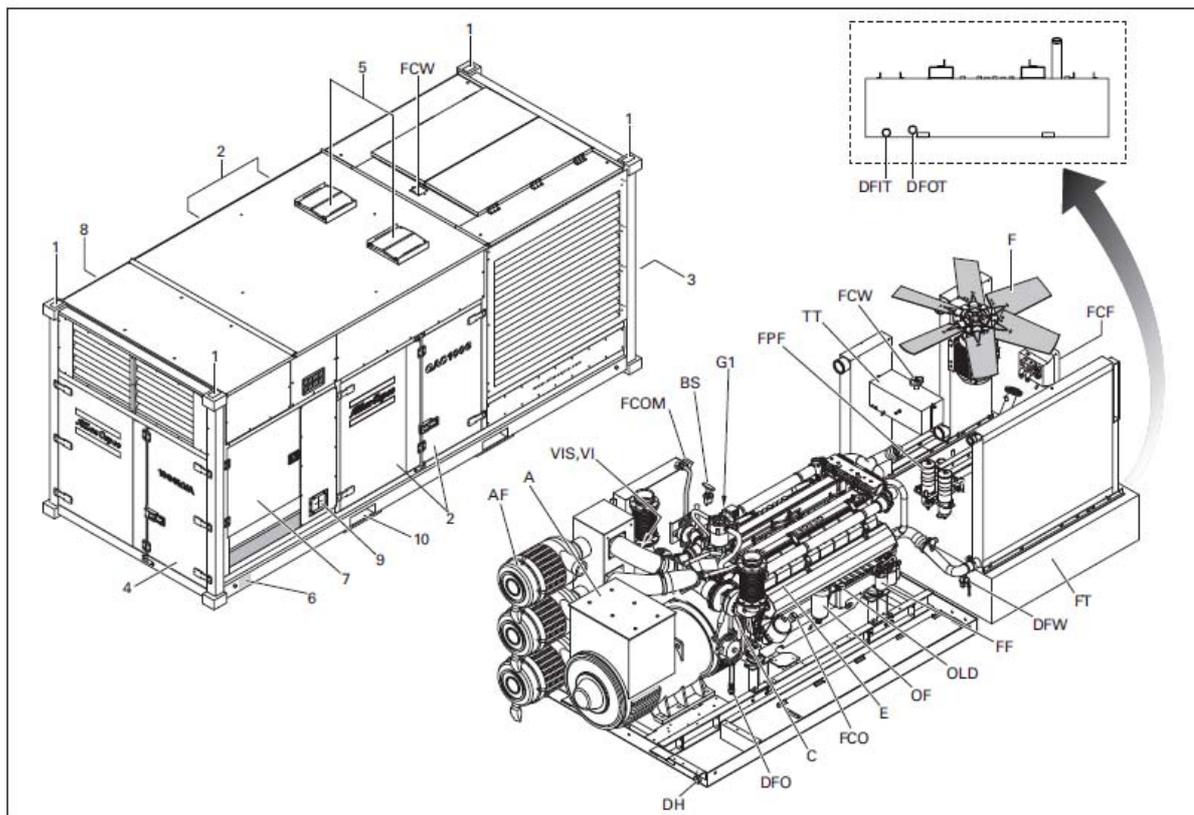
El generador síncrono consta de un regulador automático de tensión (AVR) cuya función principal es la de alimentar al circuito de excitación de tal manera de mantener constante la tensión de salida del generador dentro de ciertos rangos de frecuencia y carga.

Para proteger el generador, el grupo electrógeno cuenta con un interruptor automático de salida conectado al panel de control destinado a controlar el funcionamiento del grupo y a protegerlo contra posibles fallos en el funcionamiento.

1.5.1.3. Componentes.

Las siguientes figuras se han obtenido del Manual de instrucciones QAC 1000 Dd, referencia bibliográfica [5].

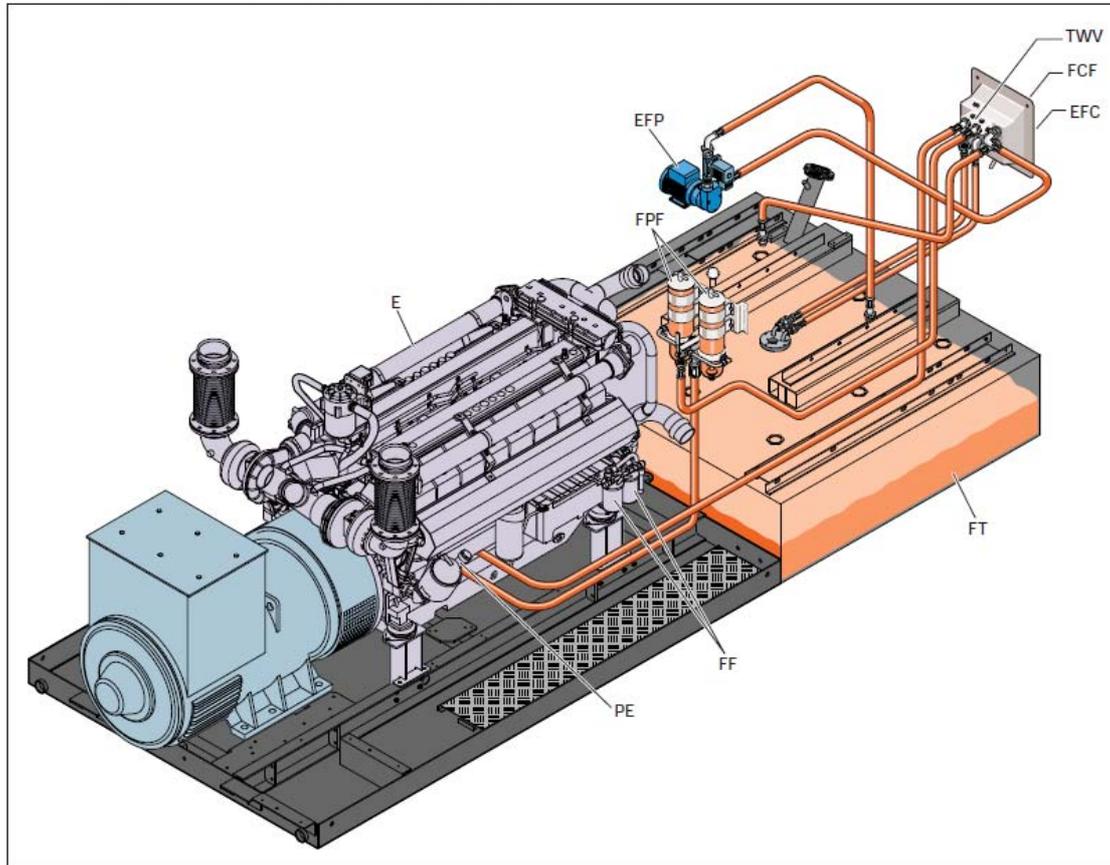
En el figura siguiente, se muestra una presentación general de los componentes principales.



1	Orificios para elevación	DFW	Conducto flexible para drenaje del agua de refrigeración
2	Puertas laterales, acceso al motor y a al alternador	DH	Orificio de vaciado (en el bastidor)
3	Puerta frontal, acceso al sistema de refrigeración del motor	E	Motor
4	Puerta posterior, acceso al alternador y a los filtros de aire	F	Ventilador
5	Escape del motor	FCF	Tapón de llenado de combustible
6	Placa de datos	FCO	Tapón de llenado, aceite del motor
7	Puerta lateral, acceso al panel de alimentación	FCW	Tapón de llenado del agua de refrigeración
8	Puerta lateral, acceso al panel de mando y de indicadores	FCOM	Sistema de reposición del tapón de llenado de aceite
9	Acceso a los terminales para conexiones externas	FF	Filtro de combustible
10	Hueco para alzamiento con carretilla elevadora	FPF	Prefiltro de combustible
A	Alternador	FT	Depósito de combustible
AF	Filtro de aire	G1	Batería
BS	Interruptor de batería	OF	Filtro de aceite
C	Acoplamiento	OLD	Varilla de nivel de aceite del motor
DFIT	Orificio de vaciado del depósito de combustible interno	TT	Sistema de refrigeración del motor en depósito superior
DFO	Conducto flexible de drenaje del aceite del motor	VI	Indicador de vacío
DFOT	Orificio de vaciado del depósito de combustible externo	VIS	Interruptor del indicador de vacío

Figura 1. Componentes principales de un grupo electrógeno

El grupo electrógeno se divide en dos compartimientos: el compartimiento del motor y el compartimiento del refrigerante.



EFP	Bomba eléctrica de combustible	FT	Depósito de combustible
E	Motor	FF	Filtros de combustible
PE	Bomba de combustible del motor	FPF	Prefiltros de combustible
EFC	Acoplamiento de suministro externo de combustible	TWV	Válvula de tres salidas
FCF	Tapón de llenado (depósito de combustible)		

Figura 2. Compartimiento del motor y del refrigerante de un grupo electrógeno

Motor, alternador, escape y cubículo se encuentran situados en el compartimiento del motor. Dicho compartimiento se aerea por medio de dos pequeños ventiladores, impulsados por dos motores eléctricos a velocidad constante, con independencia de la carga y las condiciones ambientales. El aire de refrigeración entra por la parte frontal de la unidad y se descarga a través del compartimiento del refrigerante.

El depósito del combustible y los refrigeradores se encuentran en el compartimiento del refrigerante. Un gran ventilador impulsa aire a través de los refrigeradores. La descarga

se realiza hacia arriba. El ventilador está impulsado por un motor eléctrico con velocidad variable, dependiendo de las condiciones ambientales y de carga.

El compartimiento del refrigerante está cubierto por dos grandes compuertas a modo de techo, y se abrirá de forma automática cuando el motor alcance cierta temperatura.

El motor, el alternador y el cubículo están montados sobre una estructura de base, capaz de deslizarse dentro y fuera del contenedor para llevar a cabo tareas de mantenimiento importantes.

El sistema de arranque es eléctrico. Consiste en un motor eléctrico de 24 Vdc accionado por una o varias baterías de plomo-ácido.

Una vez se tiene una idea general de los componentes del grupo electrógeno se procederá a analizar de una manera más detallada los principales componentes a tener en cuenta, con los que se entenderá mejor su funcionamiento y su respuesta ante los diferentes tipos de carga.

1.5.1.3.1. Motor de combustión

Los motores de los grupos electrógenos que funcionan con combustible diesel disponen de 1 a 8 cilindros, son de 4 tiempos, ciclo diesel y brindan un poder calórico de 9300 Kcal /litro. Pueden funcionar perfectamente en altas temperaturas, pero en temperaturas inferiores, necesitan de calentadores para funcionar correctamente.

Suelen ser modelos destinados a cargas de servicio permanente, con un régimen de trabajo habitual de 1500 rpm.

El motor de combustión cuenta con un regulador diseñado para mantener una velocidad constante del motor con relación a los requisitos de carga. La velocidad del motor está directamente relacionada con la frecuencia de salida del alternador, por lo que cualquier variación de la velocidad del motor afectará a la frecuencia de la potencia de salida.

1.5.1.3.2. Generador síncrono

Para la análisis del generador síncrono se ha empleado de las imágenes del documento “Máquina síncrona”, referencia bibliográfica [3].

Principios de funcionamiento

Los generadores de corriente alterna o alternadores son máquinas que transforman la energía mecánica, que reciben por el rotor, en energía eléctrica en forma de corriente alterna.

Su estructura es la siguiente:

- **Estator:** Parte fija exterior de la máquina, formado por una carcasa metálica que sirve de soporte. En su interior encontramos el núcleo del inducido, con forma de corona y ranuras longitudinales, donde se alojan los conductores del enrollamiento inducido formando un conjunto de bobinas.
- **Rotor:** Parte móvil que gira dentro del estator y que consiste en un electroimán alimentado por corriente continua el cual se encarga de generar el campo magnético.

En función de la velocidad de la máquina hay dos formas constructivas del rotor.

- o **Rotor de polos salientes:** Utilizado para sistemas de baja velocidad.
- o **Rotor de polos lisos:** Utilizado para girar a 3000, 1500 o 1000 r.p.m. en función de los polos que tenga.

Los alternadores utilizados en grupos electrógenos de cierta potencia cuentan con excitatriz, que es a su vez un generador de corriente alterna trifásico (Cuyo inductor está montado sobre el estator del alternador y el inducido sobre el rotor), en cuya salida se encuentra un rectificador trifásico, que alimenta el electroimán, con lo cual se evitan los anillos rozantes, que ocasionan pérdidas en los mismos y desgaste de los carbones.

El esquema elemental de un generador síncrono trifásico es el mostrado en la figura siguiente.

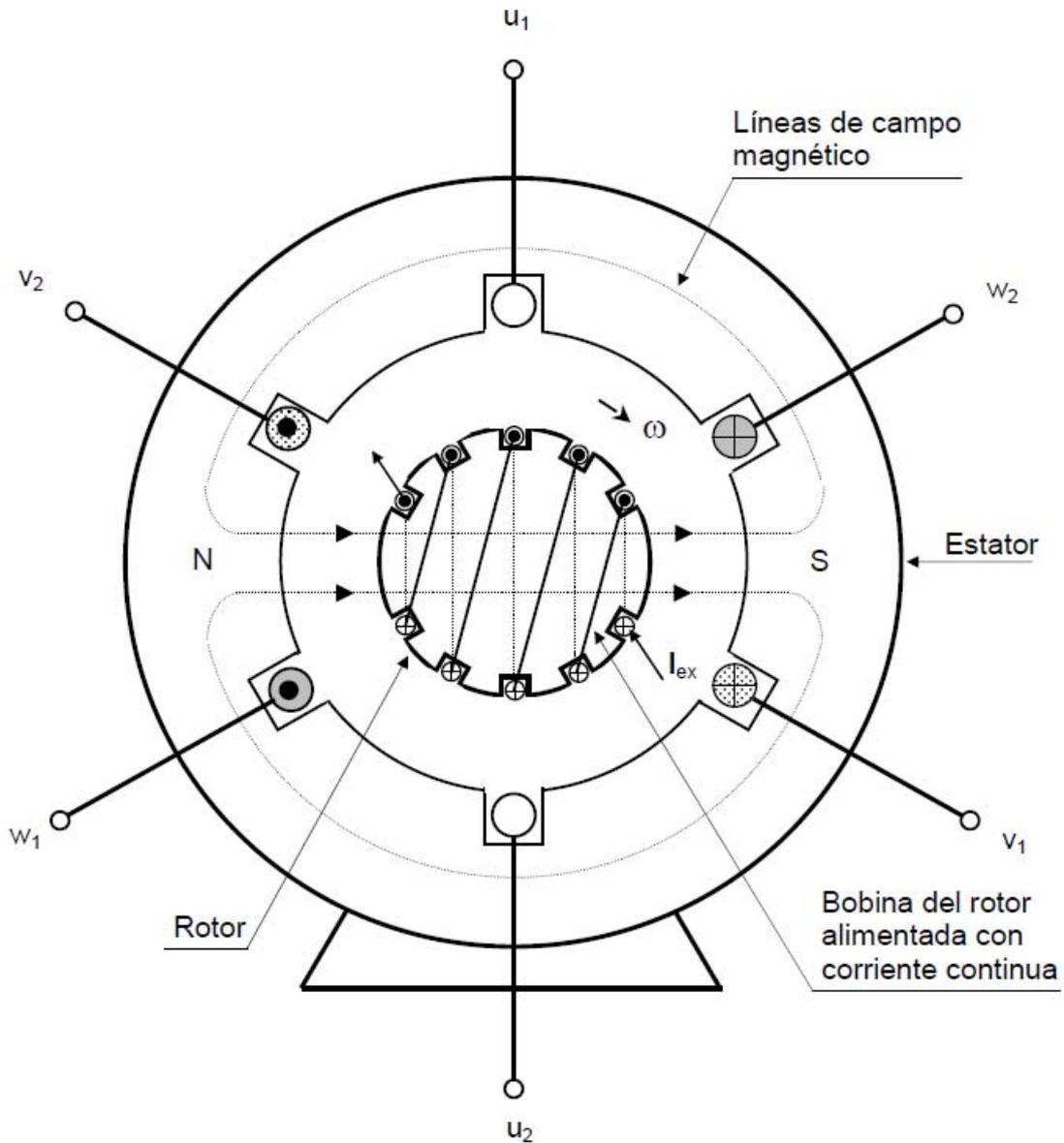


Figura 3. Esquema de un generador síncrono trifásico

El esquema presenta solamente 6 ranuras, y sobre cada par de ranuras opuestas se colocan los lados de una bobina, cuyos principios y finales tienen la siguiente denominación:

Bobina 1: $u_1 - u_2$

Bobina 2: $v1 - v2$

Bobina 3: $w1 - w2$

En la figura 4 se ha esquematizado la bobina 1, donde se puede ver como están ubicados los conductores en las ranuras, siendo las otras dos bobinas idénticas, pero con sus ejes magnéticos, formando un ángulo de 120° , entre sí.

Dado que el electroimán produce un flujo magnético $[\Phi]$ de valor constante, las bobinas concatenaran un valor de dicho flujo de acuerdo a la posición instantánea del rotor.

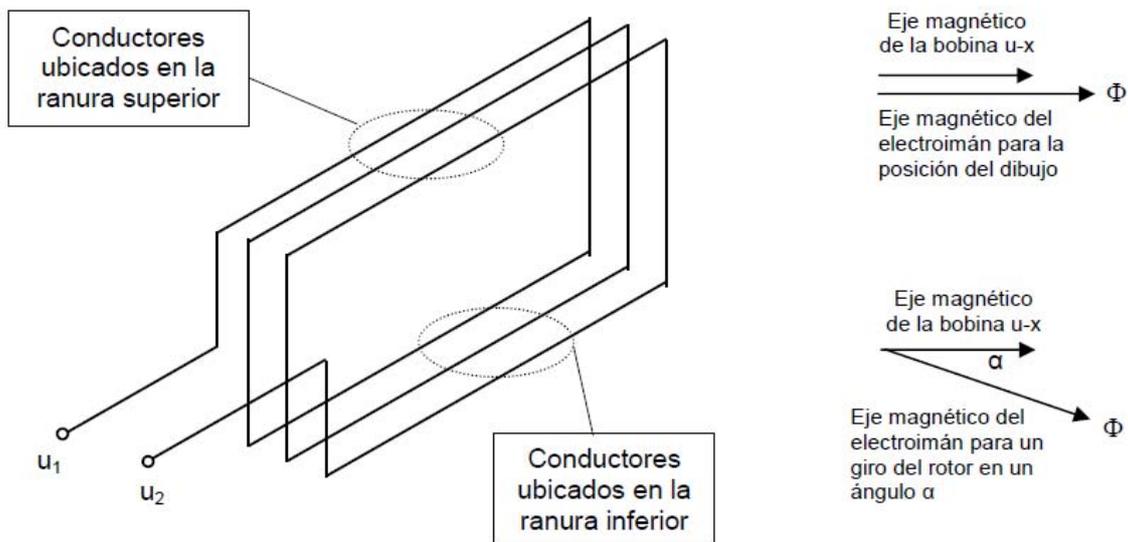


Figura 4. Disposición de la bobina 1 (u_1-u_2)

Si se analiza la bobina $u_1 - u_2$ de “N” espiras (La cual en el esquema anterior está representada por una sola por simplicidad del dibujo), y se llama “ α ” al ángulo entre el eje magnético del electroimán y el eje magnético de la bobina, el valor del flujo concatenado por la misma para un instante cualquiera está dado por, la proyección del flujo producido por el electroimán sobre el eje magnético de la bobina, o sea:

$$\phi = \Phi \cos\alpha = \Phi \cos\omega t \quad \text{Siendo } \omega \text{ la velocidad angular del rotor.}$$

De acuerdo a la ley de Faraday-Lenz, entre los terminales de la bobina se inducirá una fuerza electromotriz cuyo valor está dado por:

$$e_{u1-u2} = - N \frac{d\phi}{dt} = N \Phi \omega \sin \omega t$$

Llamando $E_{max.} = N \Phi \omega$ nos queda:

$$e_{u1-u2} = E_{max.} \sin \omega t$$

Si se analiza la bobina $v1 - v2$, se observa que el fenómeno se repite pero con un atraso de 120° , debido a la disposición geométrica en que las mismas están colocadas, o sea que:

$$e_{v1-v2} = E_{max.} (\sin \omega t - 2\pi/3)$$

Lo mismo sucede con la bobina $w1 - w2$:

$$e_{w1-w2} = E_{max.} (\sin \omega t - 4\pi/3)$$

De esta manera se logra tener un sistema de tres tensiones alternas desfasadas una de otra, 120° en el tiempo, según se puede observar en la figura siguiente.

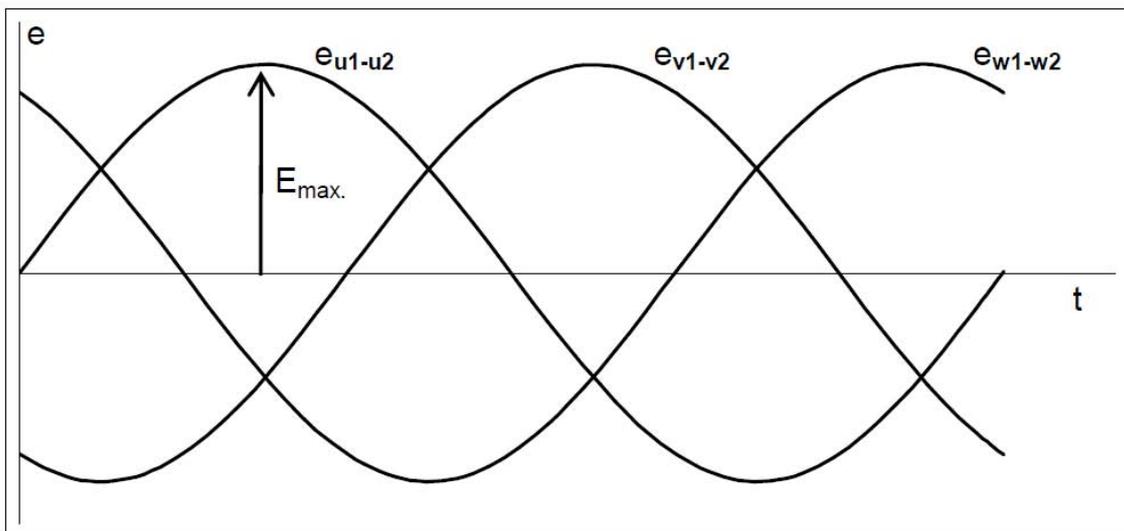


Figura 5. Sistema trifásico de tensiones

Si se analiza el valor eficaz de la tensión en bornes de cada una de las bobinas o fases del generador, se tendrá:

$$E_F = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} \quad \omega = 2\pi f \quad \text{Siendo } f: \text{ la frecuencia}$$

$$E_F = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f N \Phi = 4,44 f N \Phi$$

Frecuencia y número de polos

Hasta ahora se ha analizado la maquina de 2 polos magnéticos, la que, por cada vuelta que efectúa el rotor se genera un ciclo completo de la fuerza electromotriz inducida en cada una de las fases del estator, por lo tanto si el rotor gira a “n_s” vueltas por minuto, se cumplirán “n” ciclos por minuto, por lo tanto la frecuencia en ciclos por segundo en el estator será:

$$f = \frac{n_s}{60}$$

Si la maquina tiene más de un par de polos, la expresión general de la frecuencia obtenida es:

$$f = \frac{n_s \cdot p}{60} \quad \text{Dónde:}$$

f : Frecuencia de la fuerza electromotriz inducida en ciclos por seg o Hertz [Hz]

p: Cantidad de pares de polos

n_s: Velocidad de giro del rotor [r.p.m.]

El esquema de la figura siguiente se muestra una máquina de 4 polos (Dos pares de polos):

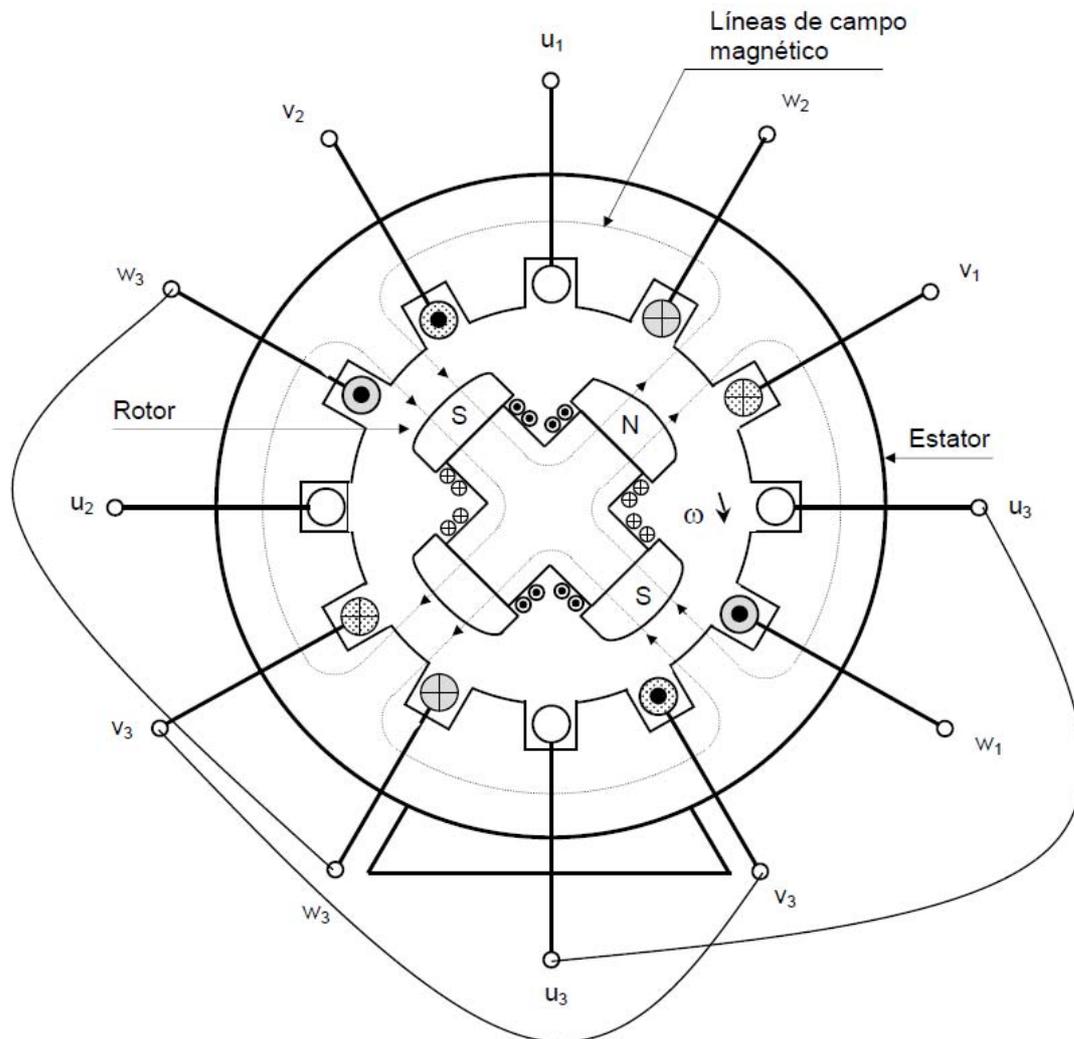


Figura 6. Disposición Generador síncrono de cuatro polos

Esta máquina presenta dos pares de polos en el rotor y además en el estator la cantidad de ranuras es el doble que en el caso anterior, de tal forma que cada fase ocupa el doble de ranuras, estando formada cada una de ellas por dos bobinas conectadas en serie, con el mismo eje magnético de la siguiente forma:

Fase 1: u1 - u3 - u3 - u2

Fase 2: v1 - v3 - v3 - v2

Fase 3: w1 - w3 - w3 - w2

La figura siguiente muestra como está conformada una de las fases, la cual tiene dos bobinas con un mismo eje magnético, pero el flujo originado por las corrientes tiene sentido opuesto.

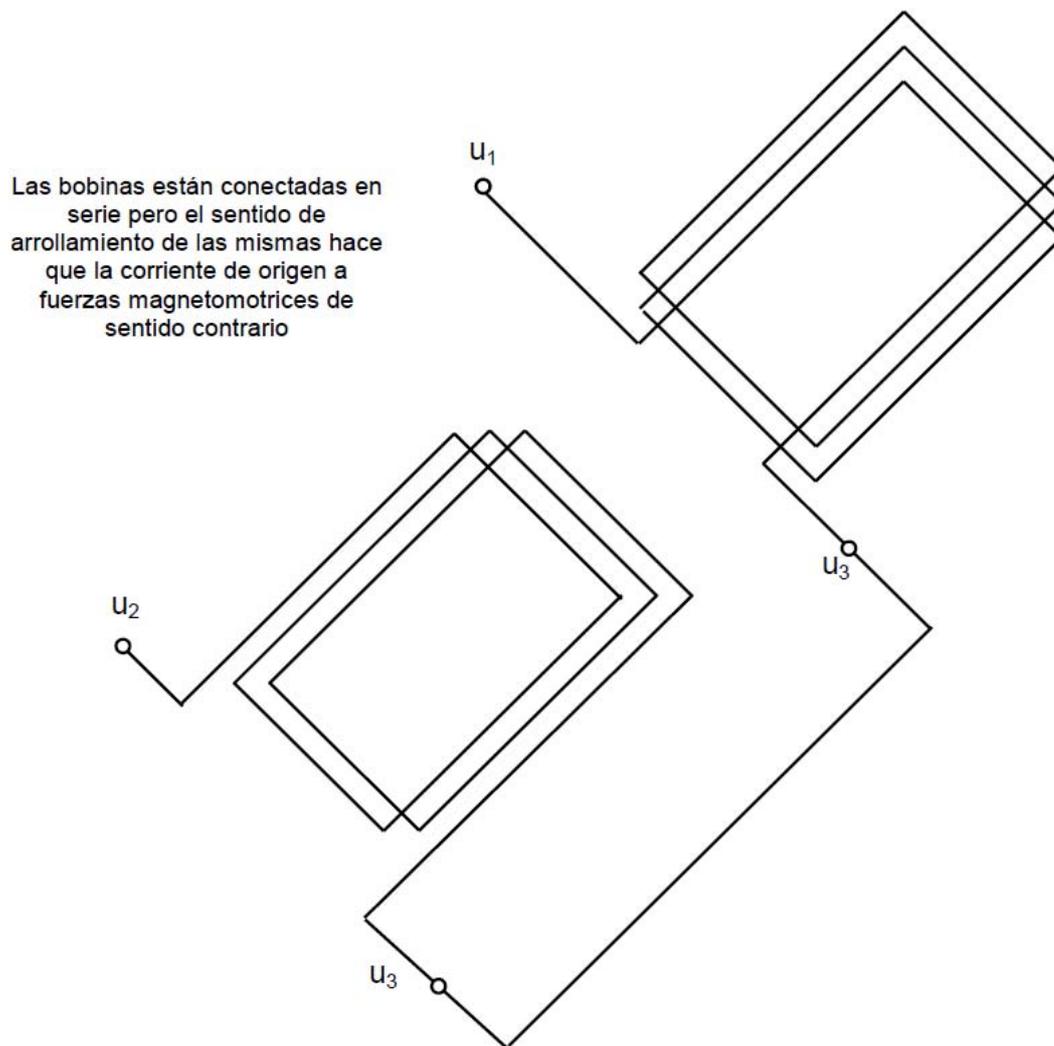


Figura 7. Esquema de las bobinas $u_1 - u_3 - u_3 - u_2$

Las tres bobinas del estator se unen en un punto común ($x = y = z$ o $x1 = y1 = z1$), conformando un tipo de conexión que se denomina “estrella”, según se muestra en el esquema de la figura siguiente.

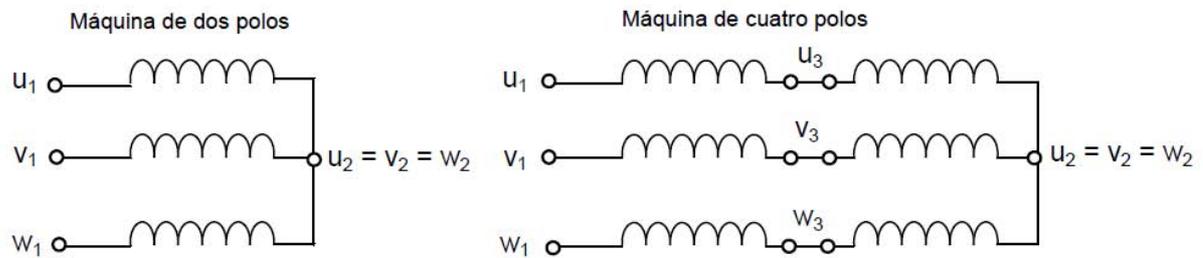


Figura 8. Conexión en estrella de los bobinados estatóricos

Comparando ambas máquinas se puede observar que en la de dos polos, cada lado de bobina ve pasar un polo (Norte o sur) del rotor una vez por cada vuelta, en cambio en la máquina de cuatro polos corresponde dos veces por cada vuelta, lo que indica que la frecuencia para la misma velocidad angular es el doble.

Por lo tanto para obtener la misma frecuencia, las velocidades del rotor deben ser diferentes, e ir disminuyendo a medida que la cantidad de polos aumenta o sea que la velocidad del rotor para una misma frecuencia es la siguiente:

$$f = \frac{n_s \cdot p}{60}$$

Circuito equivalente

Si la máquina no tiene carga, la tensión que aparece en los terminales de la máquina es directamente la fuerza electromotriz inducida.

Cuando se carga la máquina la tensión que tenemos en sus terminales se modifica debido básicamente a los siguientes factores:

Reacción de armadura

Si las tres bobinas del estator se unen en un punto común ($u_2 = v_2 = w_2$), formando una conexión en estrella y se coloca una carga por las mismas circulara una corriente que dependerá de las características de dicha carga (óhmica, óhmica-inductiva, óhmica-capacitiva), lo cual hará que la corriente este desfasada un cierto ángulo en atraso o en adelanto.

Debido a esa corriente, en el estator se crea un campo magnético alternativo en cada una de las fases, los que al componerse da origen a un campo magnético rotante el que se denomina reacción de armadura y que gira a la misma velocidad del rotor.

En la figura 9 se observa la situación para una posición del rotor en la cual la bobina del estator ($u_1 - u_2$), concatena el máximo flujo ya que sus ejes magnéticos son coincidentes.

Para analizar el comportamiento del grupo electrógeno ante diferentes tipos de carga se va a proceder a hacer un estudio del generador síncrono ante las distintos tipos de carga.

Carga óhmica pura

Con este tipo de carga la corriente va a estar en fase con la tensión en bornes de la máquina, lo cual hace que las corrientes sean entrantes y salientes, y coincidiendo su sentido con el indicado en la figura 10, en la cual la corriente en " $u_1 - u_2$ ", tiene un valor igual a cero y en la bobina " $v_1 - v_2$ " la corriente es entrante por " v_1 " (negativa) y saliente por " w_1 " (positiva).

Esto hace que la tensión en bornes difiera de la fuerza electromotriz inducida, debido a que el campo en el entrehierro de la maquina no solo el producido por el rotor, sino que se compone con el de reacción de armadura.

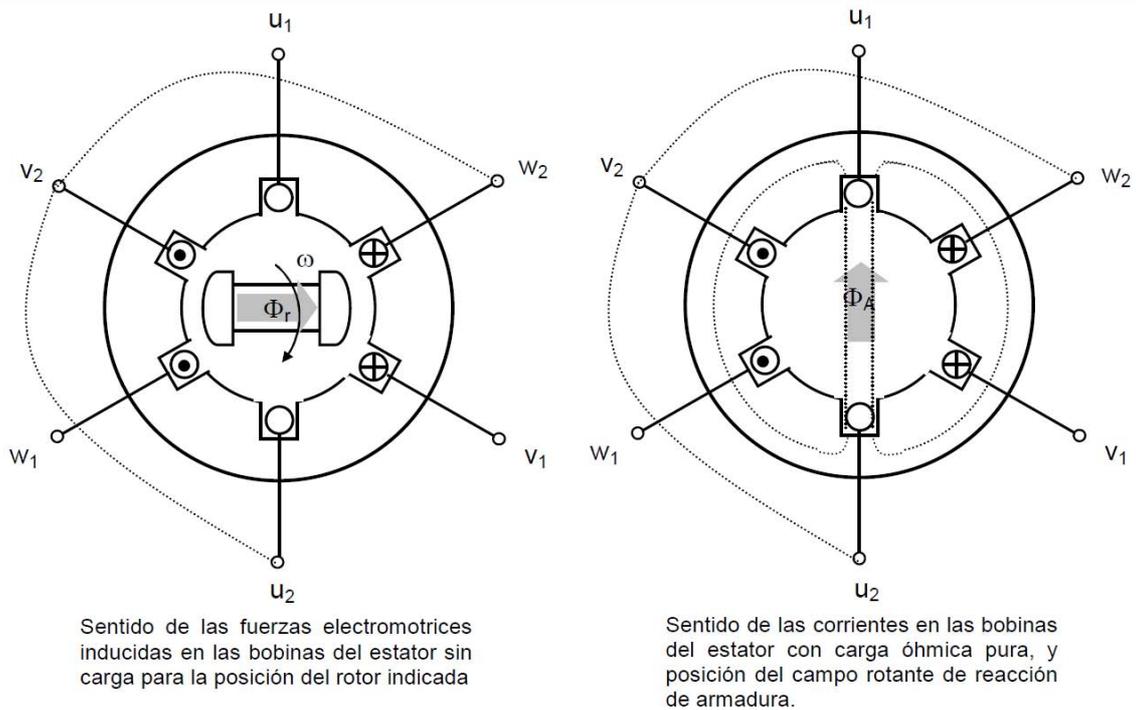


Figura 9. Posición de los campos magnéticos del rotor y de reacción de armadura para carga óhmica pura

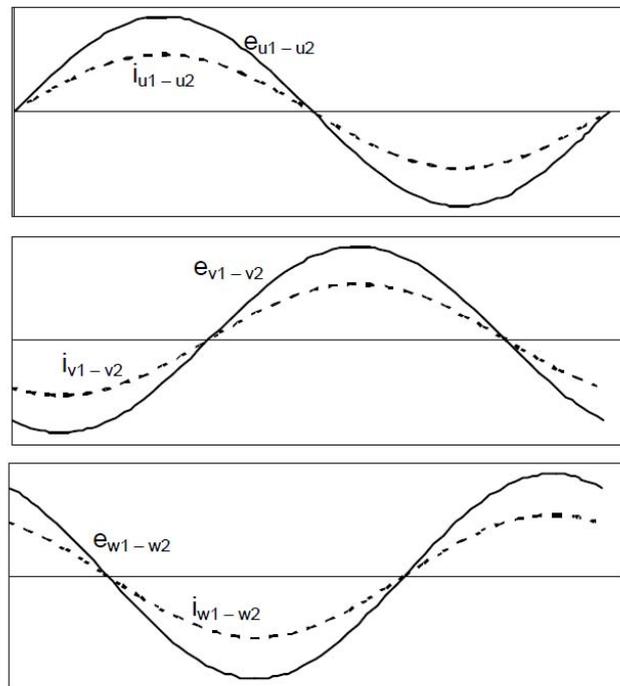


Figura 10. Valores instantáneos de las fem inducidas y las corrientes del estator para carga óhmica pura

Carga inductiva pura

En la figura 11, se observa que, las corrientes en el estator tienen un ángulo de atraso de 90° .

El desfase de la corriente se puede observar en la figura 12. De aquí se observa que las fuerzas magnetomotrices del rotor y de la armadura se oponen, lo cual indica que el efecto de esta última es netamente “desmagnetizante”.

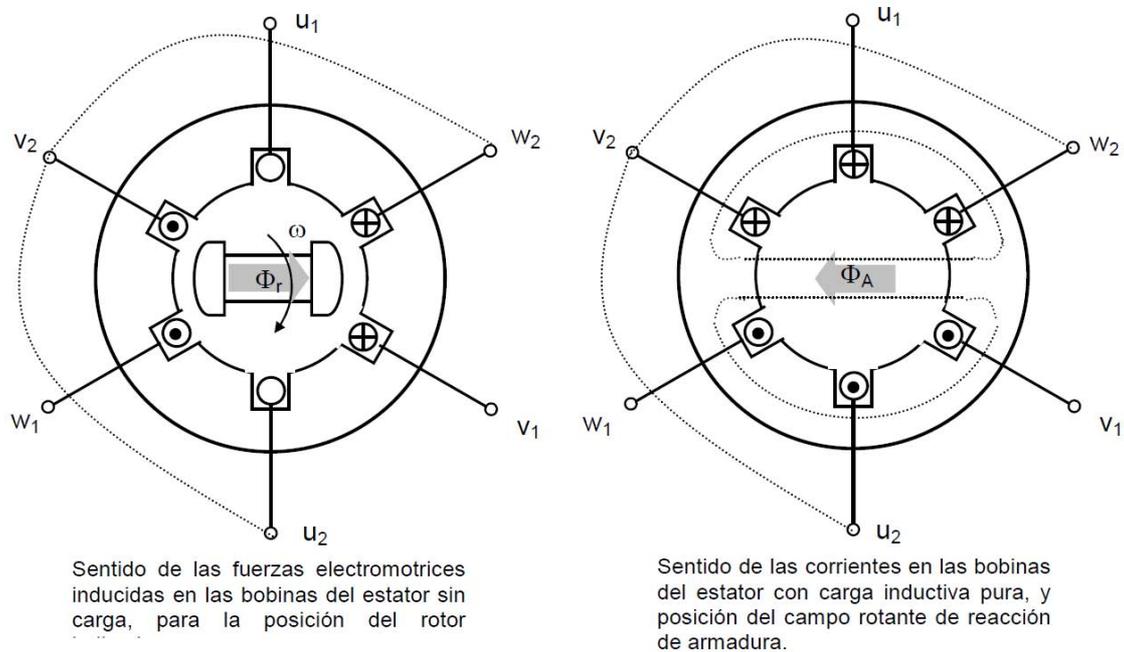


Figura 11. Posición de los campos magnéticos del rotor y de reacción de armadura para carga inductiva pura

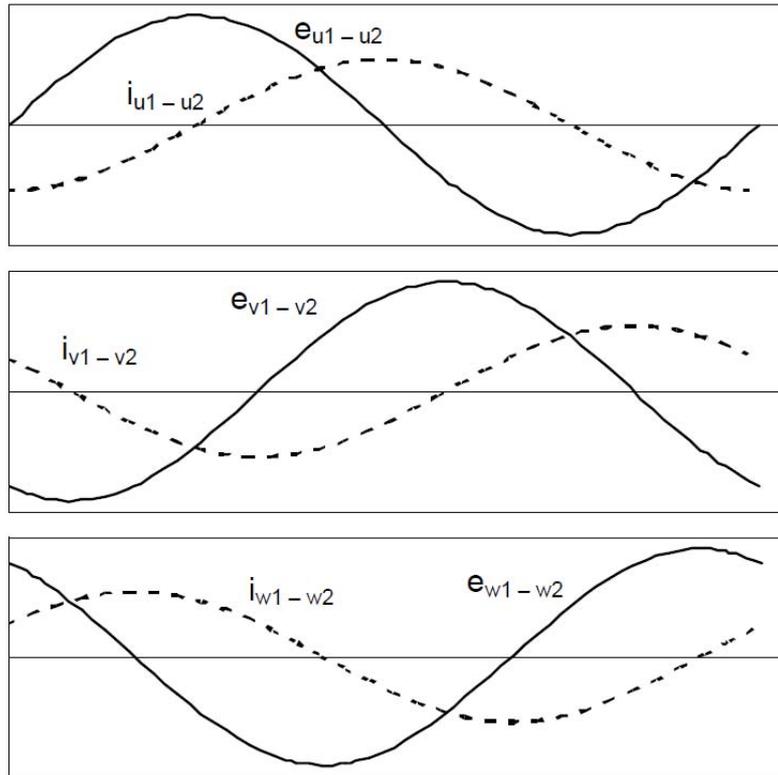


Figura 12. Valores instantáneos de las fem inducidas y las corrientes del estator para carga inductiva pura

Carga capacitiva pura

En la figura 13, se observa que, en este caso tienen un ángulo de adelanto de 90° .

El desfase de la corriente se puede observar en la figura 14. De aquí se observa que las fuerzas magnetomotrices del rotor y de la armadura se superponen, lo cual indica que el efecto de esta última es netamente “magnetizante”.

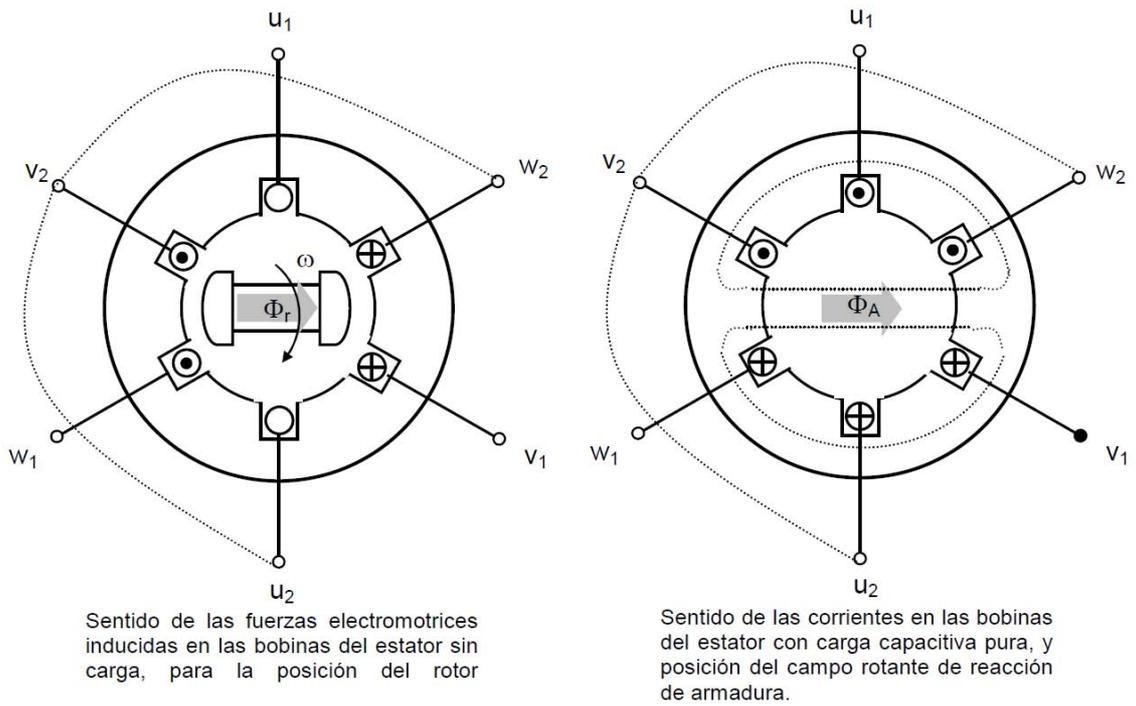


Figura 13. Posición de los campos magnéticos del rotor y de reacción de armadura para carga capacitiva pura

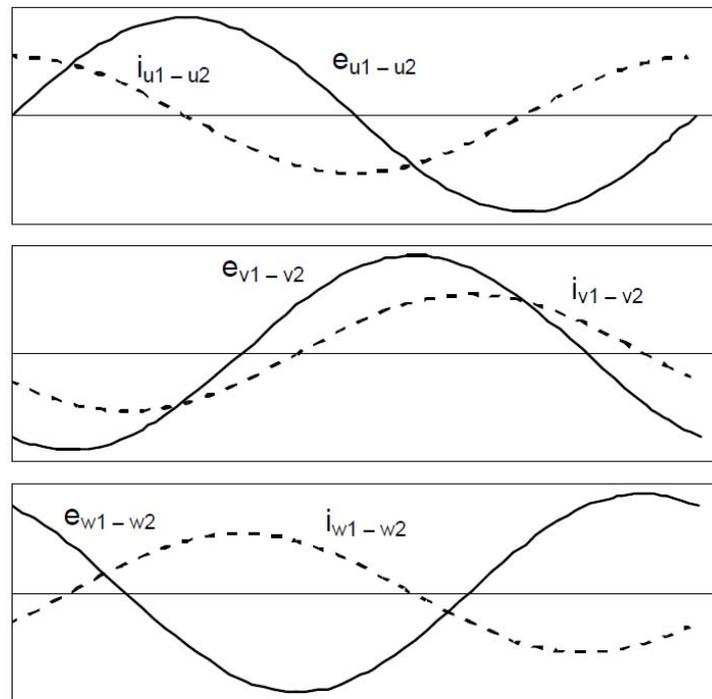


Figura 14. Valores instantáneos de las fem inducidas y las corrientes del estator para carga capacitiva pura

Carga óhmico inductiva

En la figura 15, se observa que, en este caso tienen un ángulo de atraso de 60° .

En esta situación se observa que la reacción de la armadura es desmagnetizante y deformante.

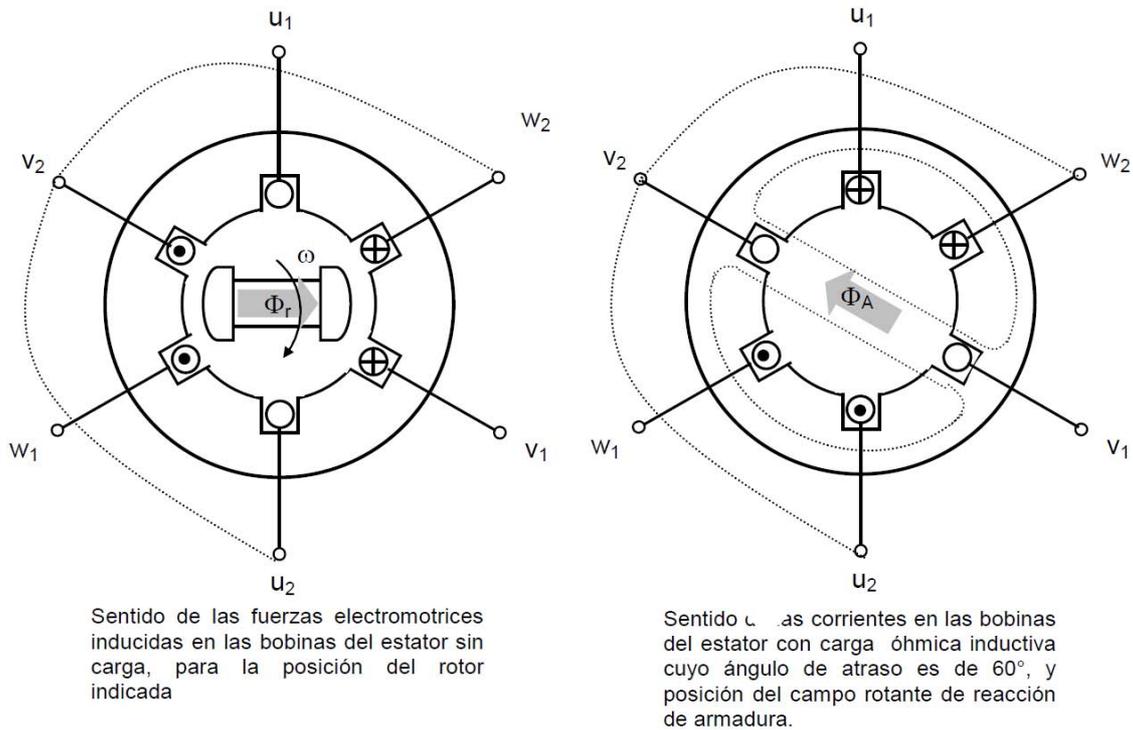


Figura 15. Posición de los campos magnéticos del rotor y de reacción de armadura para carga óhmico-inductiva

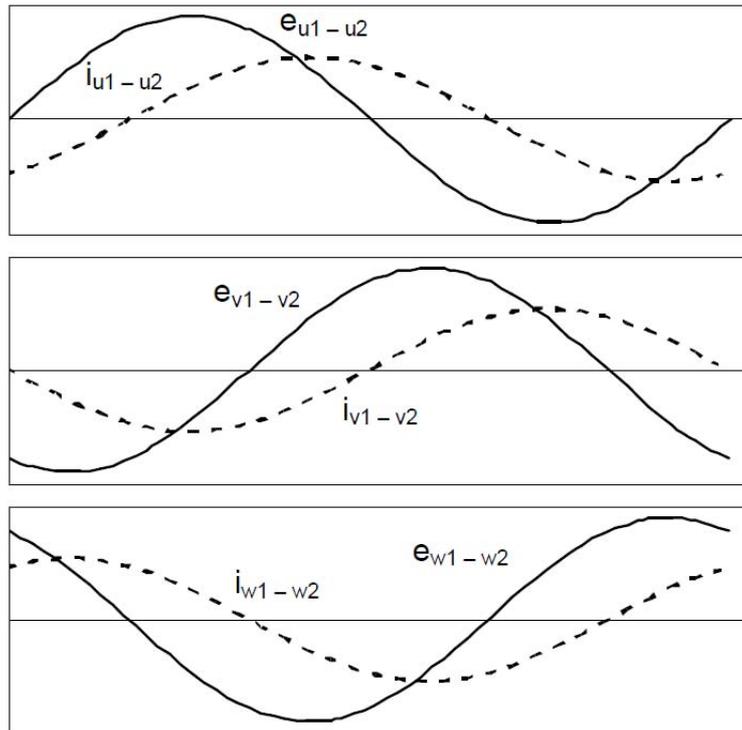


Figura 16. Valores instantáneos de las fem inducidas y las corrientes del estator para carga óhmico inductiva

Flujo disperso en los bobinados estáticos

Las bobinas del estator tienen autoinductancia, con su correspondiente reactancia (función de la frecuencia de las corrientes que circulan por el mismo), lo que produce una variación de la tensión en bornes. Esta reactancia que representa el flujo disperso en el estator y la de reacción de armadura se engloban en lo que se denomina reactancia sincrónica de la máquina.

Resistencia óhmica de los bobinados

Además las bobinas presentan resistencia óhmica, que depende de la longitud de las bobinas y de la sección efectiva de las mismas.

Este conjunto de efectos hace que la tensión de la maquina cuando está suministrando potencia sea diferente a la que aparece en la misma cuando no circula corriente por el estator (En vacío).

Se puede representar la maquina mediante un circuito equivalente para una fase del mismo de acuerdo al esquema de la figura 17.

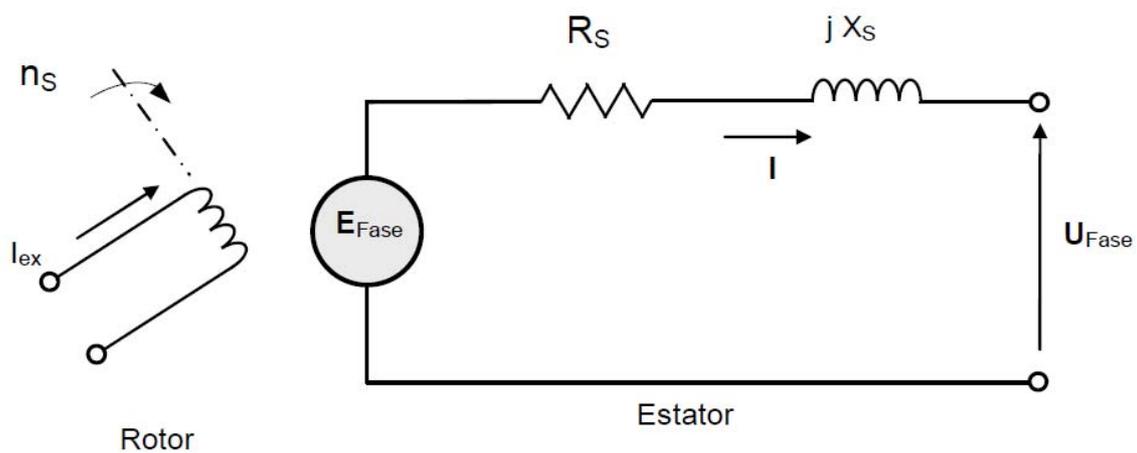


Figura 17. Circuito equivalente de un generador síncrono

Característica de vacío

La característica de vacío de la máquina, es la relación de la tensión en sus bornes, con la corriente de excitación que se hace circular en la bobina del rotor manteniendo la velocidad angular del mismo constante y sin que circule corriente por las bobinas del estator (No entrega potencia).

En este caso esta tensión coincide con la fuerza electromotriz inducida por efectos del flujo magnético originado en el rotor.

El circuito de ensayo para sacar la característica de vacío es el mostrado en la siguiente figura.

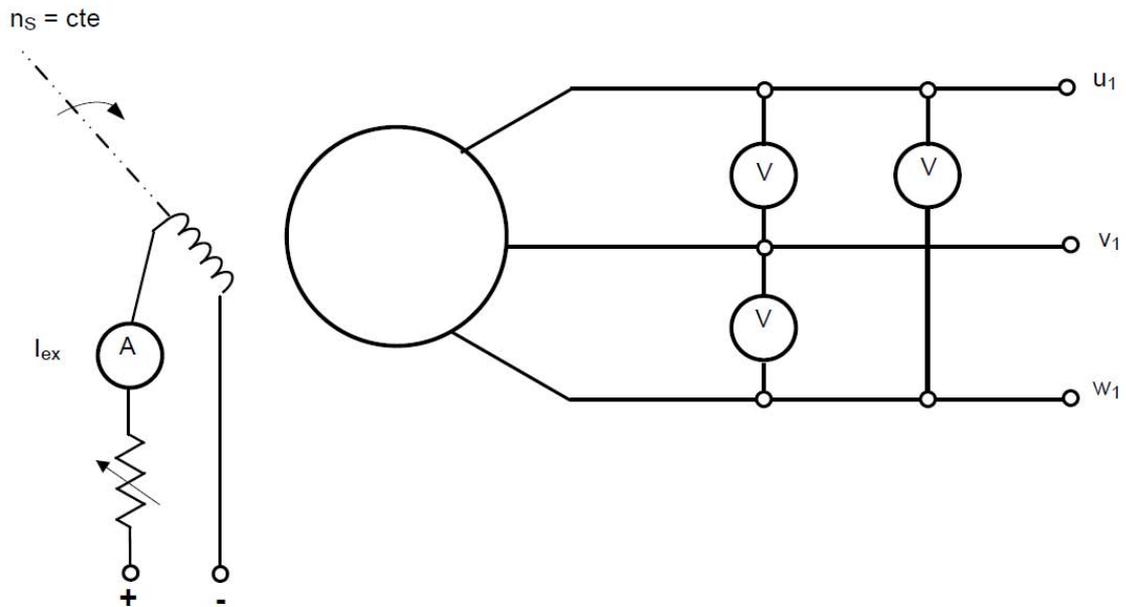


Figura 18. Circuito para ensayo en vacío de un generador síncrono

Alimentando con una fuente de corriente continua la bobina del rotor, variando la intensidad de la misma y efectuando las lecturas de los voltímetros se obtiene la curva de la figura 19.

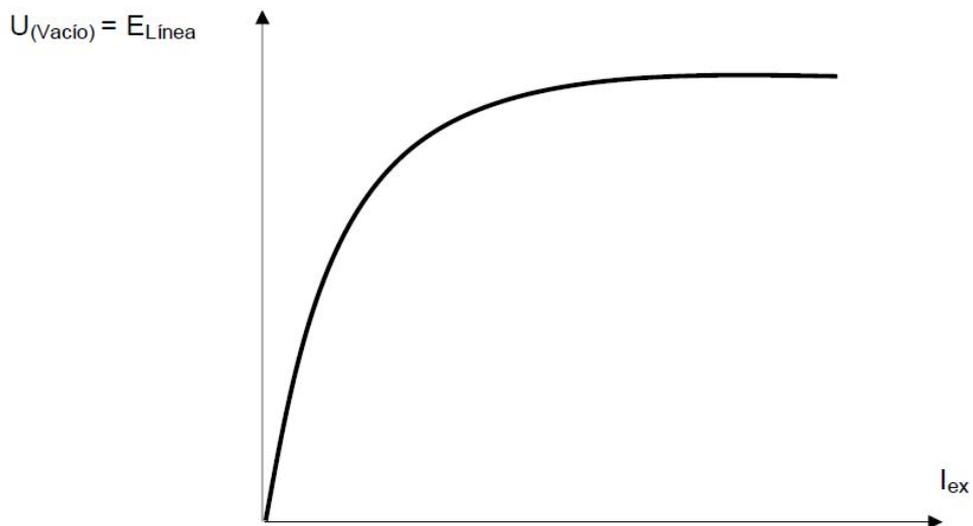


Figura 19. Curva de vacío de un generador síncrono

De la curva se observa que en la primera parte hay una relación lineal entre la corriente de excitación y la fuerza electromotriz, luego aparece un codo de saturación y por último una zona saturada en la cual para un incremento de la corriente de excitación, se logran pequeños incrementos de la tensión.

Esta curva se corresponde con la de imanación de la máquina (Para una determinada velocidad del rotor), ya que la tensión es función del flujo y la intensidad de campo magnético es proporcional a la corriente de excitación.

Característica de cortocircuito

La característica de cortocircuito es la relación entre la corriente del estator y la corriente de excitación con los bornes cortocircuitados.

Este ensayo se realiza cortocircuitando los bornes del generador a través de amperímetros, y manteniendo la velocidad constante, se varía la corriente de excitación y se efectúan las lecturas de la corriente estatórica, utilizando el circuito de la figura 20.

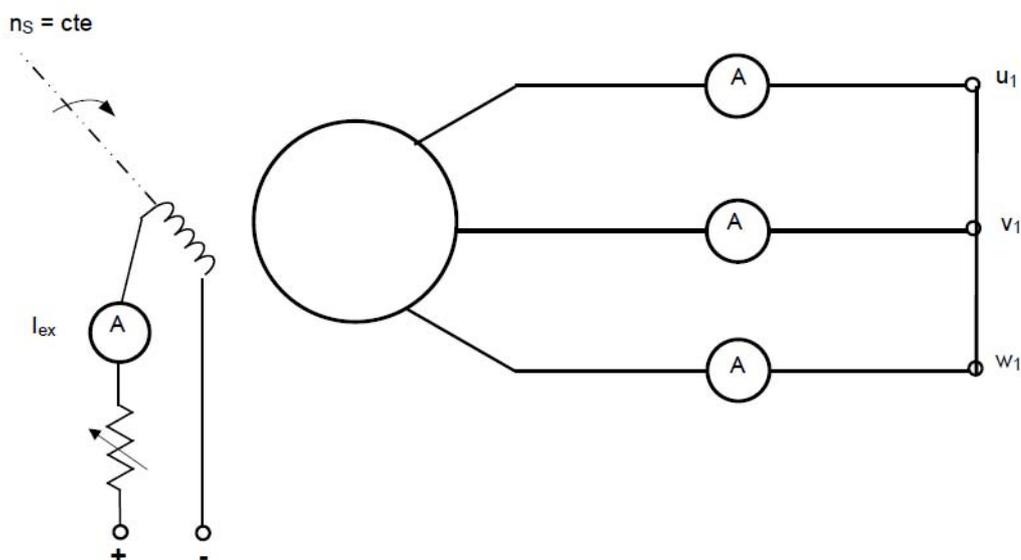


Figura 20. Circuito para ensayo en cortocircuito de un generador síncrono

Dado que la reacción de armadura es netamente desmagnetizante, debido a que la propia reactancia sincrónica de la máquina actúa de única carga, la relación entre ambas corrientes es lineal, ya que el circuito magnético no se satura, según se observa en la figura 21.

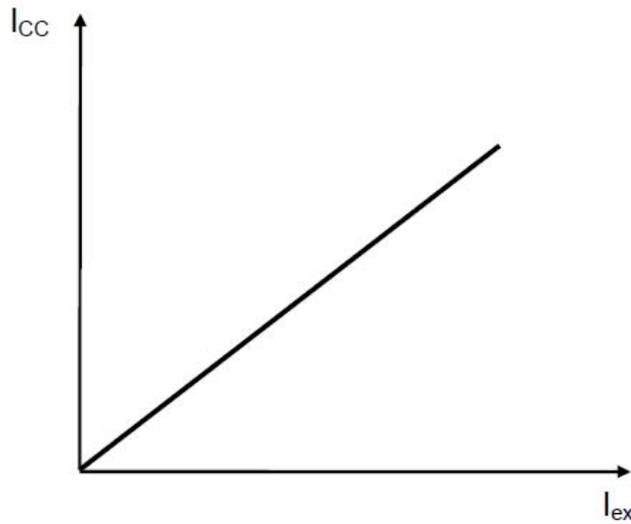


Figura 21. Curva de cortocircuito de un generador síncrono

Dada la relación prácticamente lineal entre ambas corrientes, con determinar un punto de la misma, se la puede graficar, trazando la recta al origen.

Impedancia sincrónica

Cabe destacar que el valor de la impedancia sincrónica es prácticamente constante si se mantiene dentro de la zona lineal de la característica de vacío, pero el valor de la misma disminuye a medida que se produce la saturación, según puede verse en el gráfico de la figura 22.

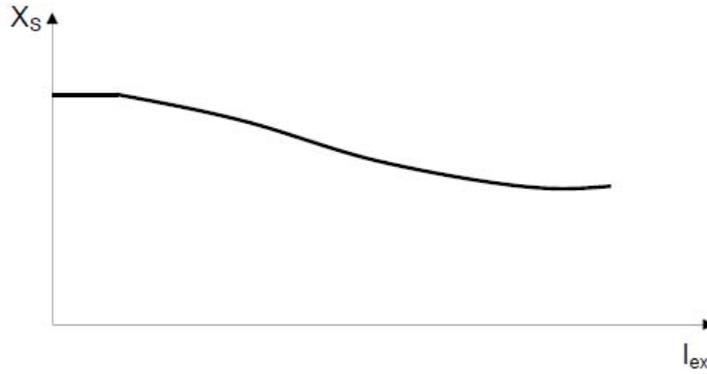


Figura 22. Variación de la reactancia síncrona con la excitación de la máquina

Potencia interna

Si se desprecia la resistencia de los bobinados, el diagrama fasorial para una carga de características óhmico-inductivas es el de la siguiente figura.

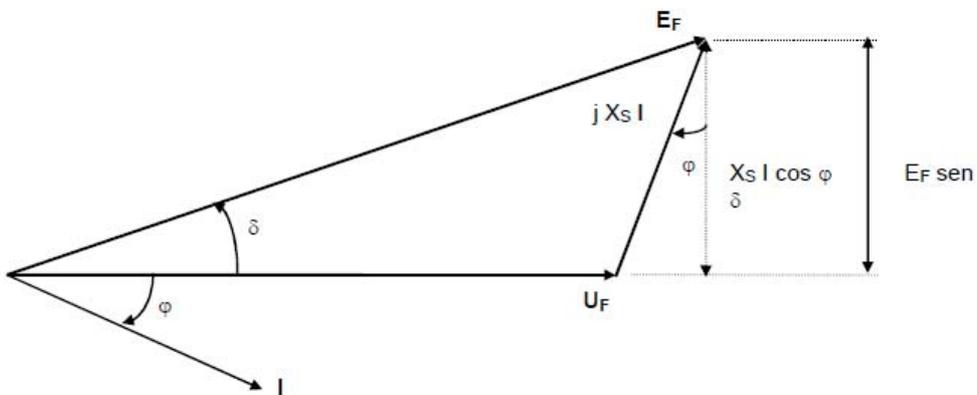


Figura 23. Diagrama fasorial de un generador síncrono con carga óhmico - inductiva

La potencia activa entregada por el generador está dada por la siguiente expresión:

$$P = 3 \cdot U_F \cdot I \cdot \cos\varphi$$

Del diagrama vemos que:

$$X_S \cdot I \cdot \cos\varphi = E_F \cdot \sin\varphi \quad \text{Luego:}$$

$$P = 3 \cdot \frac{U_F \cdot E_F}{X_S} \cdot \sin\varphi$$

Siendo:

U_F : Tensión de fase en bornes de la maquina

E_F : Fuerza electromotriz inducida por fase

X_S : Reactancia sincrónica por fase

δ : Angulo entre la fuerza electromotriz inducida y la tensión en bornes o ángulo de potencia de la máquina.

Características externas del alternador

La característica externa del generador indica como varia su tensión en bornes, en función de la intensidad de la corriente que absorbe la carga (Figura 24).

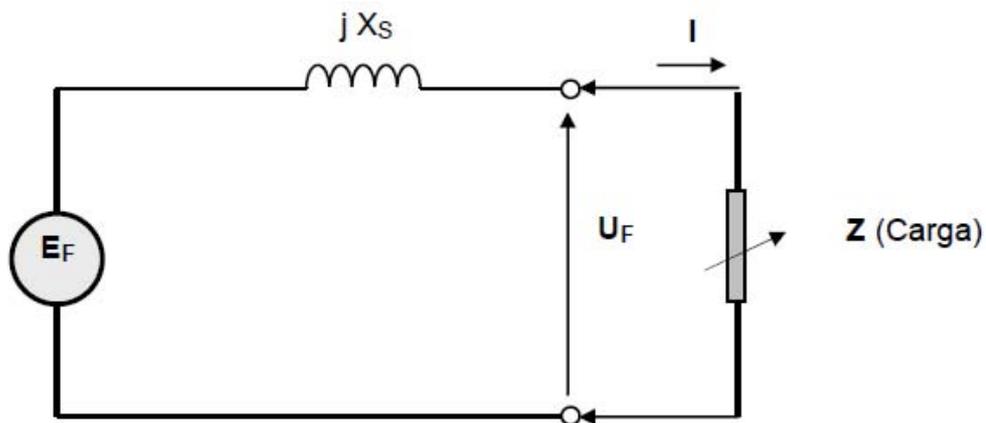


Figura 24. Generador síncrono alimentando una carga

El circuito se analiza para una fase del generador, y la ecuación que nos da la tensión de salida en bornes del generador es:

$$U_F = E_F - j \cdot X_S \cdot I$$

Carga puramente óhmica

En este caso la corriente del estator está en fase con la tensión en bornes del generador, de acuerdo al fasorial dibujado en la siguiente figura.

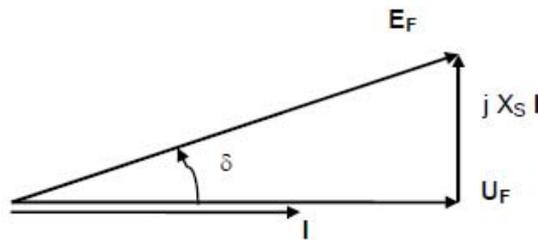


Figura 25. Diagrama fasorial de un generador síncrono con carga óhmica

Se observa que:

$$E_F^2 = U_F^2 + (X_S \cdot I)^2$$

$$\frac{U_F^2}{E_F^2} + \frac{I^2}{(E_F/X_S)^2} = 1$$

Manteniendo la corriente de excitación constante (E se mantiene constante), la ecuación anterior corresponde a una elipse de semiejes E_F y E_F/X_S , como se observa en la figura siguiente.

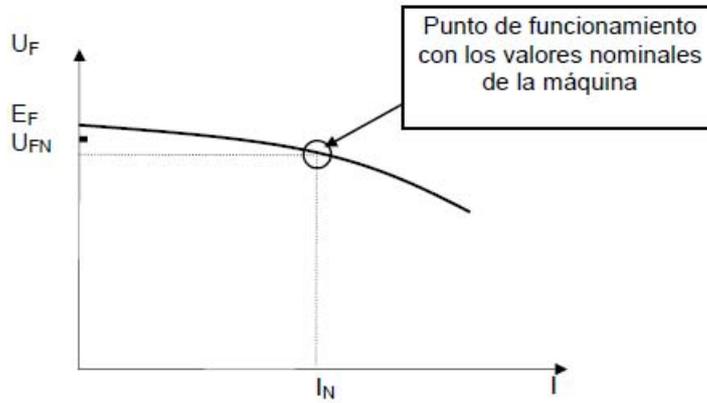


Figura 26. Variación de la tensión en bornes del generador con carga óhmica pura

Si se varía la corriente de excitación, se obtienen elipses por encima o por debajo de la anterior.

Carga puramente inductiva

En este caso la corriente atrasa 90° a la tensión en bornes de la máquina, siendo el esquema fasorial el de la figura 27 y la variación de la tensión en sus bornes el de la figura 28.

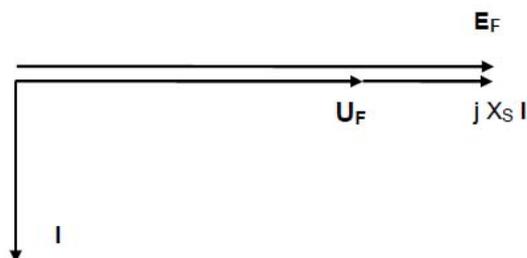


Figura 27. Diagrama fasorial de un generador síncrono con carga inductiva pura

$$E_F = U_F + X_S \cdot I$$

$$U_F = E_F - X_S \cdot I$$

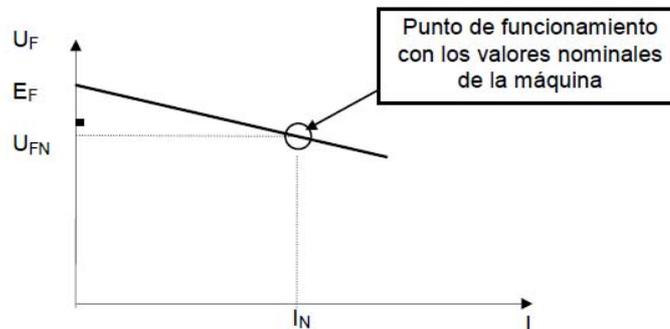


Figura 28. Variación de la tensión en bornes de un generador con carga inductiva pura

En este caso la caída de tensión es más fuerte que en el caso anterior. La reacción de armadura es totalmente desmagnetizante.

La variación de la corriente de excitación implica obtener rectas paralelas.

Carga puramente capacitiva

La corriente del estator adelanta 90° a la tensión en bornes de la máquina, siendo su diagrama fasorial el de la figura 29 y la variación de la tensión en sus bornes se observa en la figura 30.

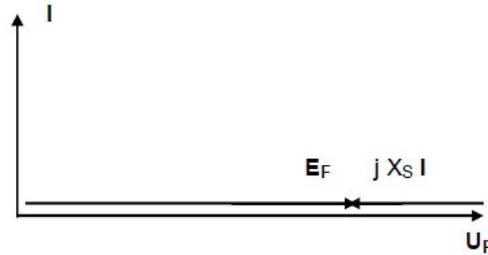


Figura 29. Diagrama fasorial de un generador síncrono con carga capacitiva pura

$$U_F = E_F + X_S \cdot I$$

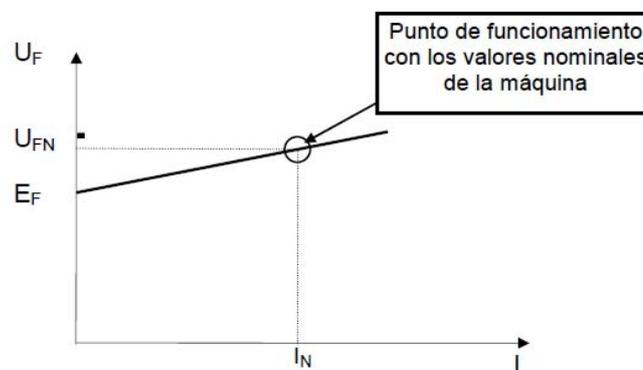


Figura 30. Variación de la tensión en bornes de un generador con carga capacitiva pura

La variación de la corriente de excitación, conlleva a obtener rectas paralelas. En este caso el efecto es puramente magnetizante, lo cual hace que la tensión en bornes de la máquina sea superior a la fuerza electromotriz inducida.

Como se observa en la gráfica, cuanto mayor es la corriente, mayor será el aumento de tensión en bornes del generador. Por lo que, cuanto mayor sea la potencia capacitiva mayor será el aumento de tensión.

Todo lo analizado ha sido suponiendo “condiciones ideales”, pero en la práctica los generadores poseen resistencia óhmica interna y la reactancia sincrónica no es constante debido a los efectos de la saturación.

Ante esto las curvas analizadas difieren ligeramente de las estudiadas, pero con la misma tendencia.

Las curvas reales se pueden obtener en forma experimental y su aspecto es el que se muestra en la siguiente figura.

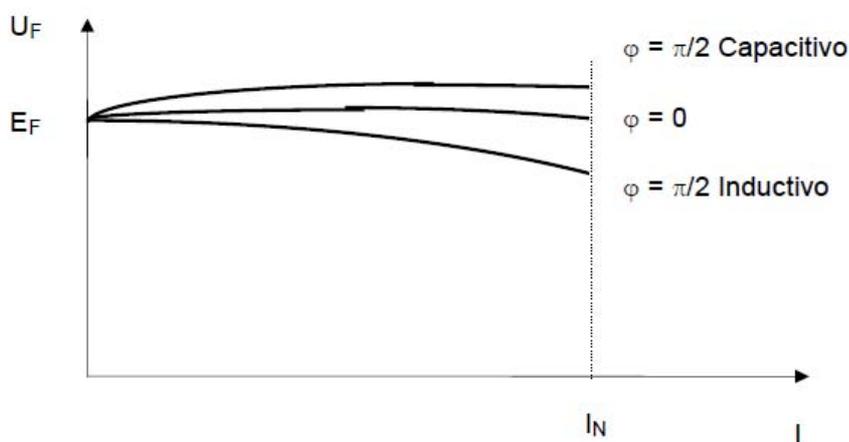


Figura 31. Variación de la tensión en bornes del generador real

1.5.1.3.3. Módulo de control

El módulo de control es una unidad de protección y control para un generador. Llevará a cabo todas las tareas necesarias para controlar y proteger el generador, independientemente de su uso. Esto significa que se puede utilizar el módulo para distintos tipos de aplicaciones.

El sistema de medición corresponde a una medición trifásica de los valores eficaces del voltaje del generador, la corriente del generador, la frecuencia del generador, el voltaje de la red eléctrica y la frecuencia de la red eléctrica.

Se encuentra en el interior del panel de mando y se comunica con un display situado delante del panel de mando.

El módulo de control a analizar es el Atlas Copco Qc4001 que incorpora el grupo electrógeno con el que se realizará el ensayo, referencia bibliográfica [6].

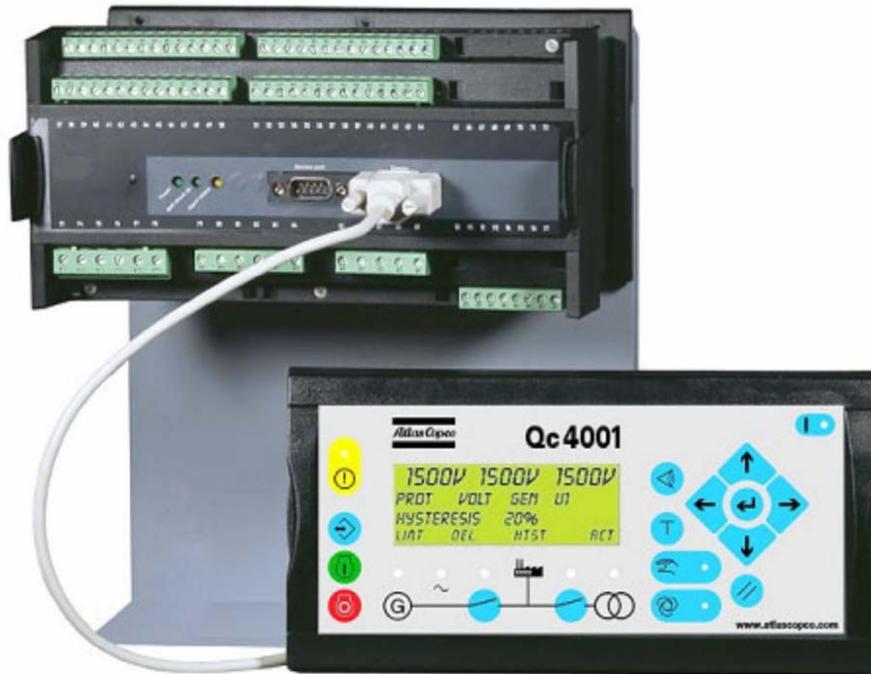
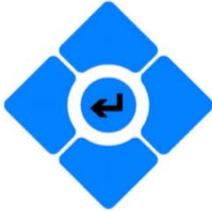


Figura 32. Módulo de control del grupo electrógeno

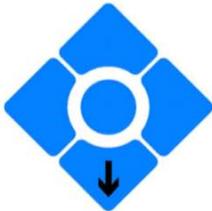


ARRIBA: Incrementa el valor del punto de ajuste seleccionado (en los menús de configuración).

En el display de uso diario se utiliza para desplazar la visualización de la segunda línea de valores del generador.



SELECCIONAR: Se utiliza para seleccionar la función elegida (selección subrayada en la línea inferior del display).



ABAJO: Reduce el valor del punto de ajuste seleccionado (en los menús de configuración). En el display de uso diario se utiliza para desplazar la visualización de la segunda línea de valores del generador.



DERECHA: Mueve el cursor a la derecha para maniobrar en los menús.



ATRÁS: Retrocede un paso en el menú (a la visualización anterior o a la ventana de entrada).



ARRANQUE: Arranque del generador si se ha seleccionado el modo "SEMI-AUTO".



PARADA: Parada del generador si se ha seleccionado el modo "SEMI-AUTO".



(GB) ACTIVADO: Activación manual de la secuencia de cierre del contactor y apertura del contactor si está seleccionado el modo "SEMI-AUTO".

(MB) ACTIVADO: Activación manual de la secuencia de cierre del contactor y apertura del contactor si está seleccionado el modo "SEMI-AUTO".



AUTO: Se selecciona el modo AUTO del generador.



SEMI-AUTO: Se selecciona el modo SEMI-AUTO (manual) del generador.



TEST: Se selecciona el modo TEST del generador. Para obtener acceso al modo TEST, es necesario especificar la contraseña de nivel inferior.



VER REGISTRO: Cambia las 3 líneas inferiores del display para que se muestre la lista de alarmas (se pueden enumerar hasta 150 alarmas). Estas alarmas se mantendrán en la memoria cuando la unidad esté apagada.

Clases de fallo:

Todas las alarmas activadas deben configurarse con una clase de fallo. La clase de fallo define la categoría de las alarmas y la acción subsiguiente a cada alarma.

Se pueden utilizar 4 clases de fallo distintas:

Clase de fallo	Acción				
	Relé de bocina de la alarma	Display de alarma	Disparo de GB	Parada conj. electrógeno	Parada
1.Aviso	X	X			
2.Salto Int	X	X	X		
3.Trip+Stop	X	X	X	X	
4. Parada	X	X	X		X

Tabla 1. Clases de fallo del módulo de control

- **Relé de bocina de alarma:** Suena una bocina que alerta del fallo.
- **Display de alarma:** Se muestra un aviso del fallo en el display del módulo de control.
- **Disparo de GB:** Disparo del disyuntor del generador. Esto hace que el generador deje que suministrar tensión.

- **Parada conjunto electrógeno:** Parada controlada del motor y generador.
- **Parada:** Parada brusca mediante la apertura del interruptor automático.

Todas las alarmas se pueden inhabilitar o habilitar del modo siguiente:

- OFF: alarma inhabilitada, supervisión inactiva.
- ON: alarma habilitada, supervisión de la alarma en todo momento.
- MARCHA: alarma de funcionamiento del grupo electrógeno, supervisión únicamente cuando está funcionando el grupo electrógeno.

Puntos de ajuste de menú:

Cada parámetro tiene un número de canal específico.

Para cambiar un parámetro se precisa una contraseña. Se indica el nivel de contraseña para cada parámetro.

Número de canal	parámetro	Nivel de contraseña	Configuración predeterminada	Mín-máx configuración
1010	Bus Alto Volt. 1	NIVEL DE CLIENTE		
1011	P ajuste	103,0%		(100,0 ... 120,0)
1012	Retardo	10,00 s		(0,10 ... 99,99)
1013	Output Relay A	R0		(R0 ... R3)
1014	Output Relay B	R0		(R0 ... R3)
1015	Habilitado	OFF		(OFF / MAR / ON)
1016	Clase de fallo	Aviso		(Aviso / Salto / Trip+Stop / Parada)

Tabla 2. Puntos de ajuste de menú

Ajuste de la protección:**Potencia invertida del generador.**

Los parámetros de potencia invertida están relacionados con la configuración de potencia nominal.

1090	Potencia invertida	NIVEL DE SERVICIO	
1091	P ajuste	-20,0%	(-50,0 ... 0,0)
1092	Retardo	5 s	(0,1 ... 100,0)
1093	Output Relay A	R0	(R0 ... R3)
1094	Output Relay B	R0	(R0 ... R3)
1095	Habilitado	ON	(OFF / MAR / ON)
1096	Clase de fallo	Trip + Stop	(Aviso / Salto / Trip+Stop / Parada)

Tabla 3. Ajuste de la protección de potencia invertida del generador

Protección contra sobreintensidad del generador.

Los parámetros están relacionados con la configuración nominal de intensidad del generador.

1100	Sobreintens 1	NIVEL DE CLIENTE	
1101	P ajuste	110,0%	(50,0 ... 200,0)
1102	Retardo	10,00 s	(0,1 ... 100,0)
1103	Output Relay A	R0	(R0 ... R3)
1104	Output Relay B	R0	(R0 ... R3)
1105	Habilitado	ON	(OFF / MAR / ON)
1106	Clase de fallo	Aviso	(Aviso / Salto / Trip+Stop / Parada)

1110	Sobreintens 2	NIVEL DE SERVICIO	
1111	P ajuste	120,0%	(50,0 ... 200,0)
1112	Retardo	5 s	(0,1 ... 100,0)
1113	Output Relay A	R0	(R0 ... R3)
1114	Output Relay B	R0	(R0 ... R3)
1115	Habilitado	ON	(OFF / MAR / ON)
1116	Clase de fallo	Trip + Stop	(Aviso / Salto / Trip+Stop / Parada)

Tabla 4. Ajuste de la protección contra sobreintensidad del generador

Dicha alarma dispara cuando la corriente detectada por el módulo de control del generador supere el 120% de la intensidad nominal durante 5 segundos.

Protección contra sobrecargas del generador.

Los parámetros están relacionados con la configuración nominal de potencia del generador.

1120	Sobrecarga 1	NIVEL DE CLIENTE	
1121	P ajuste	110,0%	(1,0 ... 200,0)
1122	Retardo	10,00 s	(0,1 ... 100,0)
1123	Output Relay A	R0	(R0 ... R3)
1124	Output Relay B	R0	(R0 ... R3)
1125	Habilitado	ON	(OFF / MAR / ON)
1126	Clase de fallo	Aviso	(Aviso / Salto / Trip+Stop / Parada)

1130	Sobrecarga 2	NIVEL DE SERVICIO	
1131	P ajuste	120,0%	(1,0 ... 200,0)
1132	Retardo	5 s	(0,1 ... 100,0)
1133	Output Relay A	R0	(R0 ... R3)
1134	Output Relay B	R0	(R0 ... R3)
1135	Habilitado	ON	(OFF / MAR / ON)
1136	Clase de fallo	Trip + Stop	(Aviso / Salto / Trip+Stop / Parada)

Tabla 5. Ajuste de la protección contra sobrecargas del generador

Protección contra desequilibrio de intensidad del generador.

Los parámetros están relacionados con la intensidad nominal del generador.

1140	Int desequil	NIVEL DE SERVICIO	
1141	P ajuste	30,0%	(0,0 ... 100,0)
1142	Retardo	10,00 s	(0,1 ... 100,0)
1143	Output Relay A	R0	(R0 ... R3)
1144	Output Relay B	R0	(R0 ... R3)
1145	Habilitado	OFF	(OFF / MAR / ON)
1146	Clase de fallo	Trip + Stop	(Aviso / Salto / Trip+Stop / Parada)

Tabla 6. Ajuste de la protección contra desequilibrio de intensidad del generador

Dicha alarma protege ante el desfase de corriente de las tres fases del generador. Si una de las tres fases se desequilibra un 30% de lo nominal hará que se active.

Protección contra desequilibrio de voltaje del generador.

Los parámetros están relacionados con el voltaje nominal del generador.

1150	Volt desequil	NIVEL DE SERVICIO	
1151	P ajuste	10,0%	(0,0 ... 50,0)
1152	Retardo	10,00 s	(0,1 ... 100,0)
1153	Output Relay A	R0	(R0 ... R3)
1154	Output Relay B	R0	(R0 ... R3)
1155	Habilitado	OFF	(OFF / MAR / ON)
1156	Clase de fallo	Trip + Stop	(Aviso / Salto / Trip+Stop / Parada)

Tabla 7. Ajuste de la protección contra desequilibrio de voltaje del generador

Esta alarma protege ante el desfase de tensión de las tres fases del generador. Si una de las tres fases se desequilibra un 10% de lo nominal hará que se active.

Protección ante importación de potencia reactiva del generador (pérdida de excitación)

Los parámetros están relacionados con el valor nominal de potencia del generador.

1160	var importados	NIVEL DE SERVICIO	
1161	P ajuste	50,0%	(0,0 ... 150,0)
1162	Retardo	10,00 s	(0,1 ... 100,0)
1163	Output Relay A	R0	(R0 ... R3)
1164	Output Relay B	R0	(R0 ... R3)
1165	Habilitado	ON	(OFF / MAR / ON)
1166	Clase de fallo	Aviso	(Aviso / Salto / Trip+Stop / Parada)

Tabla 8. Ajuste de la protección ante importación de potencia reactiva del generador

Dicha protección debe ser ajustada en relación al límite de subexcitación del diagrama P-Q del generador. Para el diagrama de la Figura 36, la alarma se debería ajustar al 30%. Esta alarma avisará cuando la potencia reactiva capacitiva alcance el valor ajustado durante 10 segundos.

Te avisa de que el control automático de tensión entra en peligro de perder el control de voltaje.

Protección ante exportación de potencia reactiva del generador (sobreexcitación).

Los parámetros están relacionados con el valor nominal de potencia del generador.

1170	var exportados	NIVEL DE SERVICIO	
1171	P ajuste	50,0%	(0,0 ... 100,0)
1172	Retardo	10,00 s	(0,1 ... 100,0)
1173	Output Relay A	R0	(R0 ... R3)
1174	Output Relay B	R0	(R0 ... R3)
1175	Habilitado	ON	(OFF / MAR / ON)
1176	Clase de fallo	Aviso	(Aviso / Salto / Trip+Stop / Parada)

Tabla 9. Ajuste de la protección ante exportación de potencia reactiva del generador

Al igual que con la protección contra pérdida de excitación, debe configurarse en relación al límite de sobreexcitación del diagrama P-Q del generador. Para el diagrama de la Figura 36, la alarma se debería ajustar al 75%. Esta alarma avisará cuando la potencia reactiva alcance el valor ajustado durante 10 segundos.

Protección de voltaje del generador.

1210	Gen Alto Volt. 1	NIVEL DE CLIENTE	
1211	P ajuste	110,0%	(100,0 ... 120,0)
1212	Retardo	5,0 s	(0,1 ... 100,0)
1213	Output Relay A	R0	(R0 ... R3)
1214	Output Relay B	R0	(R0 ... R3)
1215	Habilitado	ON	(OFF / MAR / ON)
1216	Clase de fallo	Aviso	(Aviso / Salto / Trip+Stop / Parada)

1220	Gen Alto Volt. 2	NIVEL MAESTRO	
1221	P ajuste	120,0%	(100,0 ... 150,0)
1222	Retardo	1 s	(0,1 ... 100,0)
1223	Output Relay A	R0	(R0 ... R3)
1224	Output Relay B	R0	(R0 ... R3)
1225	Habilitado	ON	(OFF / MAR / ON)
1226	Clase de fallo	Parada	(Aviso / Salto / Trip+Stop / Parada)

1230	Gen Bajo Volt. 1	NIVEL DE CLIENTE	
1231	P ajuste	90,0%	(80,0 ... 100,0)
1232	Retardo	15 s	(0,1 ... 100,0)
1233	Output Relay A	R0	(R0 ... R3)
1234	Output Relay B	R0	(R0 ... R3)
1235	Habilitado	MARCHA	(OFF / MAR / ON)
1236	Clase de fallo	Aviso	(Aviso / Salto / Trip+Stop / Parada)

1240	Gen Bajo Volt. 2	NIVEL DE SERVICIO	
1241	P ajuste	70,0%	(50,0 ... 100,0)
1242	Retardo	10 s	(0,1 ... 100,0)
1243	Output Relay A	R0	(R0 ... R3)
1244	Output Relay B	R0	(R0 ... R3)
1245	Habilitado	MARCHA	(OFF / MAR / ON)
1246	Clase de fallo	Parada	(Aviso / Salto / Trip+Stop / Parada)

Tabla 10. Ajuste de la protección de voltaje del generador

Esta alarma esta configurada por defecto para que dispare cuando la tensión alcance el 120% de su valor nominal durante 1 segundo por sobretensión o el 70% durante 10 segundos por subtensión.

Protección de frecuencia del generador.

1250	Gen Alta Frec. 1	NIVEL DE CLIENTE	
1251	P ajuste	110,0%	(100,0 ... 120,0)
1252	Retardo	5,0 s	(0,2 ... 100,0)
1253	Output Relay A	R0	(R0 ... R3)
1254	Output Relay B	R0	(R0 ... R3)
1255	Habilitado	ON	(OFF / MAR / ON)
1256	Clase de fallo	Aviso	(Aviso / Salto / Trip+Stop / Parada)

1260	Gen Alta Frec. 2	NIVEL MAESTRO	
1261	P ajuste	120,0%	(100,0 ... 120,0)
1262	Retardo	1 s	(0,2 ... 100,0)
1263	Output Relay A	R0	(R0 ... R3)
1264	Output Relay B	R0	(R0 ... R3)
1265	Habilitado	ON	(OFF / MAR / ON)
1266	Clase de fallo	Parada	(Aviso / Salto / Trip+Stop / Parada)

1270	Gen Baja Frec. 1	NIVEL DE CLIENTE	
1271	P ajuste	90,0%	(80,0 ... 100,0)
1272	Retardo	10 s	(0,2 ... 100,0)
1273	Output Relay A	R0	(R0 ... R3)
1274	Output Relay B	R0	(R0 ... R3)
1275	Habilitado	MARCHA	(OFF / MAR / ON)
1276	Clase de fallo	Aviso	(Aviso / Salto / Trip+Stop / Parada)

1280	Gen Baja Frec. 2	NIVEL DE SERVICIO	
1281	P ajuste	80,0%	(80,0 ... 100,0)
1282	Retardo	5,0 s	(0,2 ... 100,0)
1283	Output Relay A	R0	(R0 ... R3)
1284	Output Relay B	R0	(R0 ... R3)
1285	Habilitado	MARCHA	(OFF / MAR / ON)
1286	Clase de fallo	Parada	(Aviso / Salto / Trip+Stop / Parada)

Tabla 11. Ajuste de la protección de frecuencia del generador

1.5.1.3.4. Tarjeta AVR

El control automático de la tensión (**AVR**, del inglés “automatic voltage regulator”) tiene por objetivo mantener constante la tensión en bornes del generador. Mide la

magnitud de la tensión en bornes del generador, valor que es rectificado y filtrado hasta obtener una señal de corriente continua proporcional al valor eficaz original. Esta señal de continua V se compara con un valor de referencia, V_{ref} , siendo la diferencia entre ambas el error de tensión, e , que después de su amplificación se utiliza como tensión de alimentación de la excitatriz principal del generador y que finalmente se convierte en la tensión de excitación del generador.

La excitatriz es el principal elemento del AVR. La excitatriz proporciona la corriente continua necesaria para generar el campo magnético del generador. En la figura 4.1 se representa el esquema típico de una regulación de tensión AVR, que utiliza una excitatriz moderna compuesta de un generador síncrono asociado a un rectificador trifásico giratorio. Este generador que gira solidario al eje de la turbina, tiene en el estator una bobina alimentada en corriente continua y en el rotor los tres devanados independientes que generan un sistema trifásico de tensiones que se rectifica mediante el puente de diodos. La salida de corriente continua del puente de diodos alimenta a la bobina de excitación del generador síncrono principal ubicada en el rotor. Mediante este diseño se elimina la necesidad de las escobillas y de los anillos rozantes.

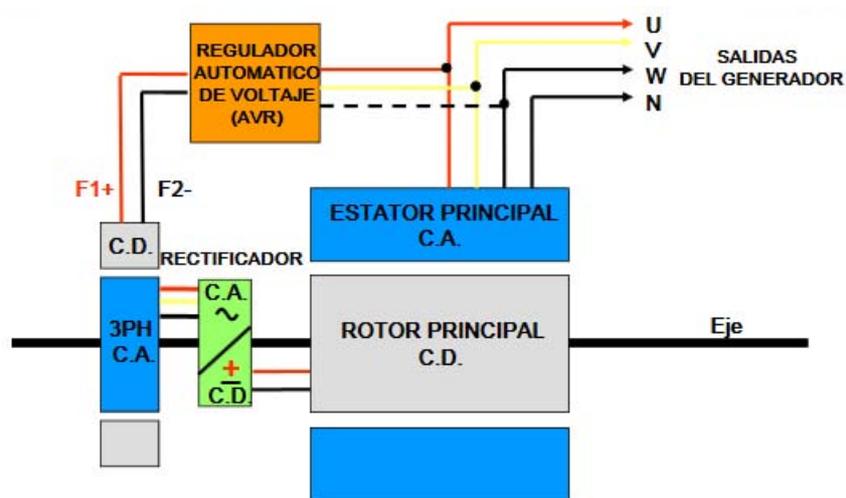


Figura 34. Representación del esquema del regulador automático de voltaje

Además, la maquina debe responder a cualquier perturbación producida en el sistema. Para cumplir con estos requerimientos, además de brindar la protección necesaria, un

AVR debe poseer diversas herramientas para brindar la mayor disponibilidad y contabilidad posible.

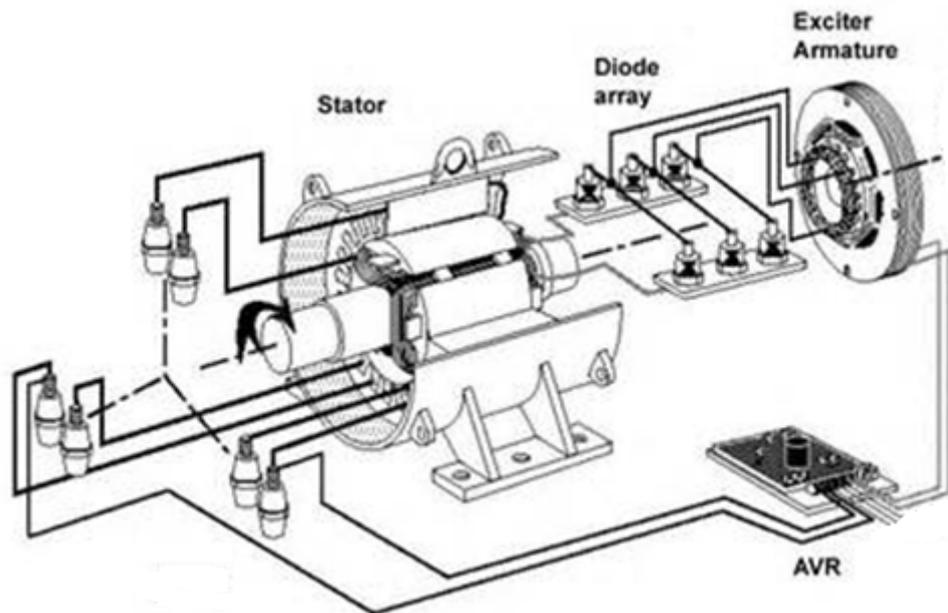


Figura 35. Representación del conjunto de elementos que intervienen en el control de tensión automático.

1.5.1.4. Selección del grupo electrógeno

Antes de nada, para prevenir posibles problemas con grupos electrógenos por la mala selección, se ha de estudiar como seleccionar un grupo electrógeno.

La correcta selección del tamaño del grupo electrógeno requiere del análisis de parámetros y cargas.

Aunque la mayoría de los ejercicios de dimensionamiento se realizan mejor con programas específicos o con la ayuda de un representante del fabricante, aun así es importante comprender los factores que afectan al funcionamiento de un grupo electrógeno para que a la hora de alquilar un grupo electrógeno se tenga confianza en que se ha elegido el equipo correcto.

Para el estudio de la selección de un grupo electrógeno se ha empleado la información técnica de Cummins Power Generation Inc “*Cómo dimensionar un grupo electrógeno:*

La correcta selección del tamaño del grupo electrógeno requiere del análisis de parámetros y cargas”, referencia bibliográfica [7].

Parámetros del proyecto

El primer paso en el dimensionamiento y la selección de un generador consiste en establecer los parámetros del proyecto.

- **Carga/capacidad mínima del grupo electrógeno:**

Operar un grupo electrógeno con una carga ligera puede causar daños al motor, lo que reduce su fiabilidad. Se recomienda no operar grupos electrógenos a menos del 30 por ciento de su carga clasificada. Los bancos de carga deben suplementar las cargas regulares cuando las cargas caen por debajo del valor recomendado.

- **Máxima caída de voltaje de medida permisible (arranque y operación):**

A medida que reduce la máxima caída de voltaje de medida permisible durante el arranque inicial, cuando las cargas hacen su ciclo en controles automáticos o cuando las cargas más altas están funcionando, necesita incrementar el tamaño del grupo electrógeno especificado. Elegir una caída de voltaje permisible más baja requiere un grupo electrógeno más grande.

- **Máxima caída de frecuencia de medida permisible:**

Para prevenir la máxima caída de frecuencia se ha de incrementar el tamaño del grupo electrógeno.

- **Altitud y temperatura**

Basándose en la ubicación del sitio, el tamaño del grupo electrógeno debe incrementarse para un nivel de desempeño estipulado a medida que la altitud y la temperatura ambiental se incrementen.

- **Ciclo de servicio:**

El tamaño del grupo electrógeno también se ve influenciado por su aplicación, energía Standby, energía primaria o servicio público paralelo. Los sistemas de energía Standby por lo general no tienen capacidad de sobrecarga. Los sistemas de energía primaria por lo general tienen un mínimo de 10 por ciento de capacidad de sobrecarga. Los grupos electrógenos diseñados para operar en horarios prolongados con una carga constante y sostenida no deben operarse en exceso de la capacidad nominal continua.

- **Combustible:**

La preferencia de gas, diésel, o gas LP afectará la elección del grupo electrógeno. A menudo los grupos electrógenos que funcionan con gas o gas LP deben tener tamaños más grandes de lo necesario debido a la disminución de capacidad. Los sistemas de emergencia, por lo general, deben abastecerse con combustible que se almacene localmente.

- **Fase:**

La selección trifásica permite cargas monofásicas pero se asume que las cargas monofásicas se equilibrarán en las tres fases.

- **Frecuencia:**

50 Hz o 60 Hz.

- **Voltaje:**

Las opciones de voltaje, por lo general, son una función de la frecuencia elegida.

Cargas

El paso más importante en el dimensionamiento de un grupo electrógeno es identificar todos los tipos y tamaños de cargas a los que el grupo electrógeno dará energía. En general, cuando hay presentes cargas no-lineales, quizás sea necesario elegir un alternador más grande de lo necesario.

La siguiente es un estudio general sobre cómo las varias cargas y los factores eléctricos afectan el dimensionamiento de los grupos electrógenos.

- **Factor de potencia:**

Las inductancias y capacitancias en los circuitos de carga de corriente alterna ocasionan que el punto donde la onda de corriente sinusoidal atraviesa el cero se adelante o atrase con respecto al punto donde la onda del voltaje atraviesa el cero.

Cargas de capacitancia, motores síncronos sobreexcitados, etc. provocan el factor de potencia capacitivo, donde la corriente se adelanta con respecto al voltaje.

El factor de potencia inductivo, donde la corriente se atrasa con respecto al voltaje, es generalmente la situación más habitual y es un resultado de la inductancia del circuito. El factor de potencia es la relación de kW a kVA y se expresa como una cifra decimal (por ejemplo, 0.8) o, no tan frecuente, como un porcentaje (80%).

Los grupos electrógenos trifásicos están clasificados por lo habitual para cargas de factor de potencia 0.8 (por sus alternadores) y los grupos electrógenos monofásicos para cargas 1.0 FP. Los factores de potencia inferiores requieren alternadores o grupos electrógenos más grandes para soportar la carga correctamente.

- **Cargas monofásicas y desequilibrio de carga:**

Las cargas monofásicas deben distribuirse tan equitativamente como sea posible entre las tres fases de un grupo electrógeno trifásico para utilizar la capacidad del grupo electrógeno por completo y limitar el desequilibrio.

- **Cargas pico:**

Las cargas pico son causadas por cargas que se encienden y apagan en ciclos, como por ejemplo en equipos para soldadura, equipos de imágenes de uso médico o motores. Considerar las cargas cíclicas puede incrementar significativamente el tamaño del grupo electrógeno recomendado a pesar de los grandes esfuerzos para colocar las cargas en una secuencia de arranque medida.

- **Cargas de motor:**

Calcular las cargas específicas de motores es algo que se hace mejor con programas de software para el dimensionamiento que convertirán los tipos de motores en requerimientos de carga para el arranque y la operación. Para este estudio, sin embargo, es suficiente caracterizar en grandes rasgos las cargas como cargas de alta inercia o baja inercia a fin de determinar la potencia del motor necesaria para las cargas de arranque y aceleración del motor.

- Las cargas de baja inercia incluyen ventiladores y ventiladores centrífugos, compresores giratorios y bombas giratorias y centrifugas.
- Las cargas de alta inercia incluyen elevadores, bombas de cilindros únicos o múltiples, compresores de cilindros únicos o múltiples, trituradores para rocas y bandas transportadoras.

- **Motores de más de 50 CV:**

Un motor grande que arranca inicialmente con un grupo electrógeno representa una carga de baja impedancia mientras esté en una condición de rotor fijo o detenido. El

resultado es una alta corriente de pico, por lo general, seis veces la corriente nominal del motor.

Esta alta corriente de inserción ocasiona la caída de voltaje en el generador que puede afectar otros sistemas. La manera en que el voltaje del generador se recupera de esta caída es una función de los tamaños relativos del generador, el motor, la potencia del motor (capacidad en kW) y la capacidad de fuerza de excitación del generador. Dependiendo de la severidad de la carga, el generador debe tener un tamaño suficiente para recuperarse al voltaje clasificado en unos cuantos segundos, si no en ciclos. Hay varios tipos de arrancadores de motores de voltaje reducido disponibles para reducir los kVA inicial de un motor en aplicaciones donde el par motor reducido del motor sea aceptable. Reducir los kVA inicial del motor puede reducir la caída del voltaje, el tamaño del grupo electrógeno y brindar un arranque mecánico más suave. Sin embargo, estos métodos de arranque solamente deben aplicarse en cargas de motores de baja inercia a menos que pueda determinarse que el motor producirá un par motor de aceleración adecuado durante el arranque.

- **Motores accionados por variadores de frecuencia (VFD):**

Los accionamientos de frecuencia variable (o velocidad variable) se aplican a cargas no lineales, que se emplean para controlar la velocidad de motores de inducción, inducir distorsión en el voltaje de salida del generador. Se requieren alternadores más grandes para prevenir el sobrecalentamiento debido a las corrientes armónicas inducidas por el VFD y para reducir la distorsión de voltaje del sistema al disminuir la reactancia del alternador. Por ejemplo, las cargas VFD en un generador deben ser menos de aproximadamente el 50 por ciento de la capacidad del generador para limitar la distorsión armónica total a menos del 15 por ciento.

- **Cargas de suministro de energía interrumpibles (UPS):**

Un sistema UPS utiliza un rectificador y otros dispositivos estáticos para convertir el voltaje CA en voltaje CC para cargar baterías de almacenamiento y son otro tipo de carga no lineal. Se requieren alternadores más grandes para prevenir el sobrecalentamiento debido a las corrientes armónicas inducidas por los rectificadores y

para limitar la distorsión de voltaje del sistema al disminuir la reactancia del alternador. Problemas anteriores de incompatibilidad entre los grupos electrógenos y los dispositivos UPS estáticos crean muchos malos entendidos sobre el dimensionamiento de grupos electrógenos para este tipo de carga.

La mayoría de los fabricantes de UPS han solucionado estos problemas y, actualmente, es más rentable requerir dispositivos UPS que sean compatibles con el grupo electrógeno que tener un generador significativamente más grandes que lo necesario para el UPS.

- **Cargas del cargador de batería:**

Un cargador de batería es una carga no lineal que requiere un alternador grande en base al número de rectificadores (pulsos), hasta 2.5 veces la carga de operación constante para tres pulsos; hasta 1.5 veces la carga de operación constante para 12 pulsos. Por lo general, estas cargas se encuentran en sistemas de telecomunicaciones.

- **Cargas de equipos para imágenes de uso médico:**

Incluyen equipos para tomografías computarizadas, resonancias magnéticas y rayos X. El grupo electrógeno debe tener un tamaño que limite la caída del voltaje a 10 por ciento cuando el equipo de imágenes para uso médico se opera con todas las otras cargas en ejecución para proteger la calidad de las imágenes.

- **Cargas de iluminación:**

Además de los voltajes de los focos, se deben considerar los voltajes de balastos y los factores energéticos de arranque y operación.

- **Cargas regenerativas:**

Para cargas como las de elevadores, grúas y montacargas, se depende a menudo de la fuente de energía para que absorba la energía durante el frenado. Por lo general, no es un problema cuando el servicio público suministra la energía porque se puede considerar como una fuente de energía infinita con muchas cargas. Un grupo electrógeno, en comparación, es capaz de absorber mucha menos energía, especialmente sin otras cargas conectadas.

Por lo general, el problema de regeneración se puede resolver asegurándose que haya otras cargas conectadas que puedan absorber la energía regenerativa. Una carga regenerativa excesiva puede ocasionar que un grupo electrógeno acelere en exceso y se apague.

Secuencia medida de cargas

En muchas aplicaciones el grupo electrógeno tiene un tamaño suficiente para absorber todas las cargas en un paso. En algunas aplicaciones es ventajoso iniciar las cargas que causan la mayor demanda inicial primero y después el resto en pasos múltiples, la regla del “motor más grande primero”. Es posible que los códigos requieran inicios de cargas en secuencia para arrancar las cargas de emergencia y seguridad vital en menos de diez segundos, al mismo tiempo que se permiten periodos más largos a otras cargas.

En general, un arranque en secuencia permite seleccionar el grupo electrógeno más pequeño con relación a la carga continua. Cuando existen cargas de motor en ciclos, será necesario darle al grupo electrógeno un tamaño suficiente para arrancar el motor más grande en ciclo al final, con todas las otras cargas conectadas.

Necesidades futuras

El último paso en la ecuación del dimensionamiento se refiere a las necesidades futuras. El uso de energía no es fijo y tiende a crecer con el paso del tiempo. Por lo tanto, todos los ejercicios de dimensionamiento de grupos electrógenos necesitan considerar la expansión del sistema. Incluso con sofisticadas soluciones de programas de software, la

decisión final sobre el tamaño del grupo electrógeno necesita hacer una valoración con criterio. Y, mientras más se conozca sobre los parámetros que afectan el dimensionamiento, mejor será la selección.

1.5.1.5. Diagrama P-Q del alternador

El control del grupo electrógeno se debe realizar teniendo en cuenta los límites impuestos por la curva P-Q del generador y sin sobrepasar la zona de estabilidad por subexcitación ni los límites de sobreintensidad de rotor y estator por sobreexcitación. En la figura siguiente se representa como referencia una curva P-Q típica de un generador.

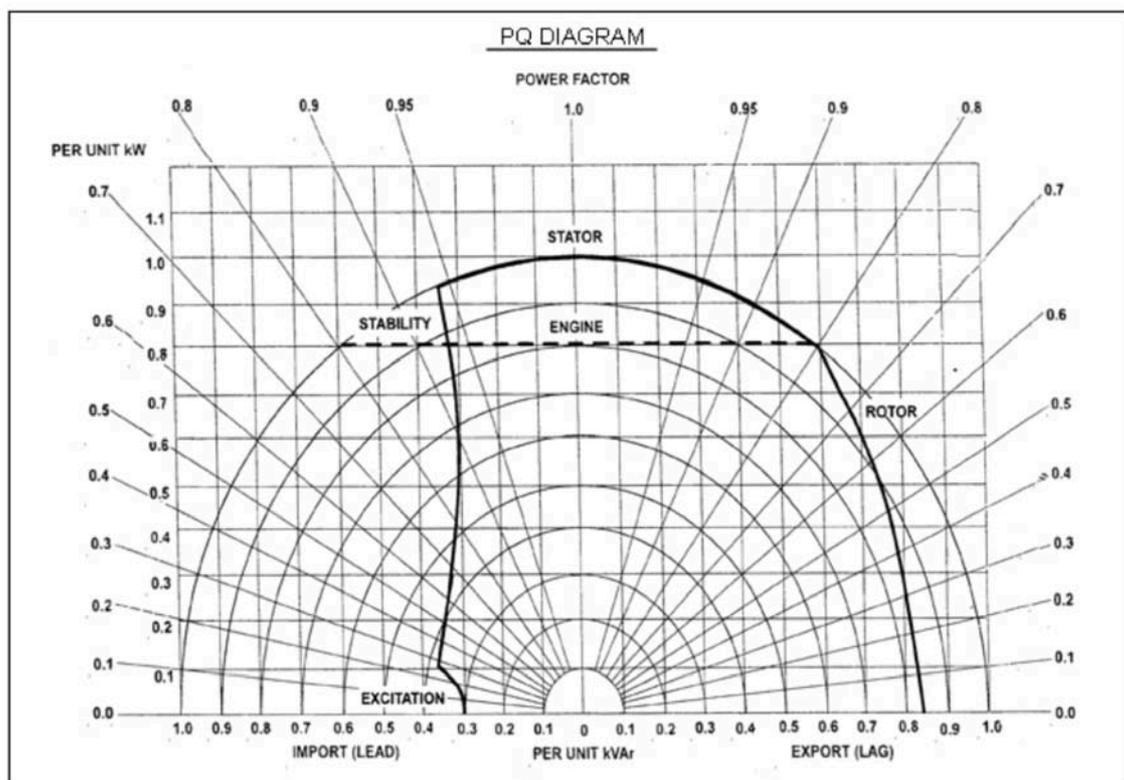


Figura 36. Gráfica P-Q de un generador síncrono

En esta gráfica, se observa que la zona de trabajo del generador tiene varias curvas limitadoras:

- Limitación por máxima intensidad del estator (Curva STATOR).

- Limitación de sobrecitación (sobrecorriente rotor) (Curva ROTOR).
- Limitación de subexcitación (Curva STABILITY).
- Limitación de mínima excitación (Curva EXCITATION).
- La línea de puntos indicada como ENGINE corresponde a la limitación de potencia activa kW impuesta por el motor o equipo motriz y que en la mayoría de los diseños de grupos generadores, se dimensiona la potencia activa del motor al 80 % de la potencia en kVA del alternador ($\cos \varphi = 0,8$).

Del análisis de esta curva se observa que el generador puede funcionar en régimen de potencia nominal con un $\cos(\varphi)$ de hasta 0,8 generando reactiva inductiva. Pero en caso de absorber potencia reactiva capacitiva el generador tiene que trabajar en la zona de subexcitación. Esta zona es peligrosa para el generador ya que se puede entrar en zona de inestabilidad poniendo en peligro al generador.

En la siguiente figura se observa más claramente la zona de trabajo del generador:

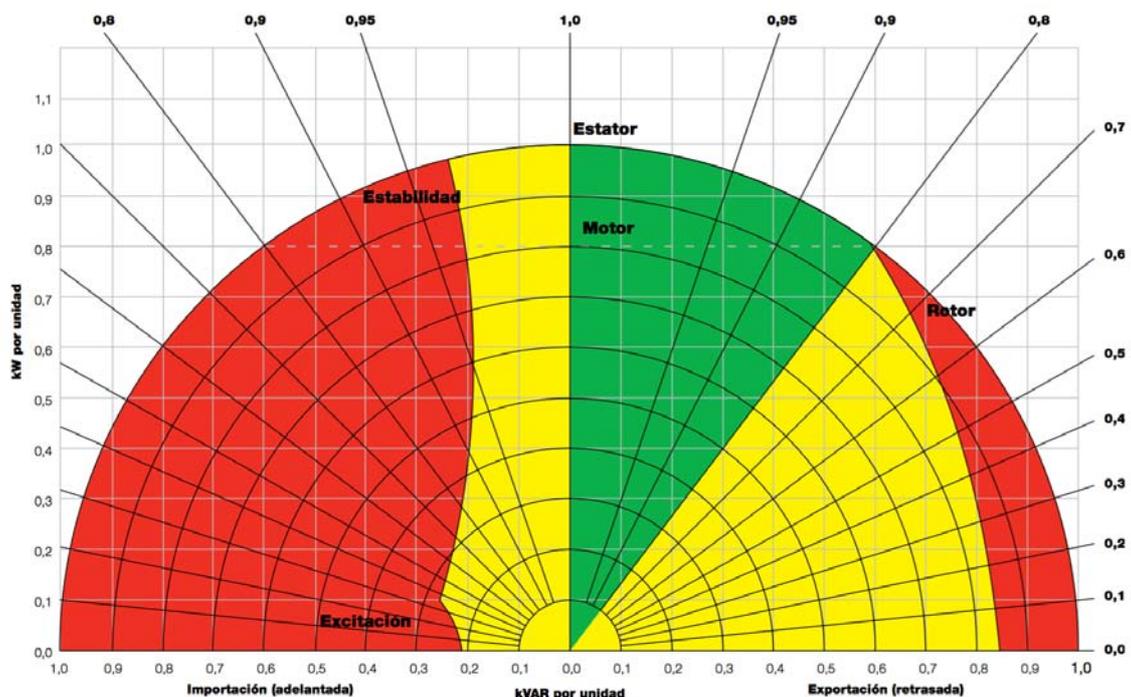


Figura 37. Curva de capacidad del generador síncrono

El área verde es el rango normal de funcionamiento de una máquina síncrona típica, el amarillo es anormal pero no perjudicial, y la operación en la región roja causará daño o mal funcionamiento.

A primera vista se observa que no existe un funcionamiento óptimo y estable absorbiendo potencia capacitiva. De hecho, se observa que la máxima potencia reactiva absorbible es de 0,2 por unidad para más o menos cualquier régimen de carga.

Por ello, se debe ser precavido siempre que se apliquen grupos electrógenos a cargas con factor de potencia capacitivo. Una carga con un factor de potencia ligeramente capacitiva puede ocasionar que los grupos electrógenos pierdan el control del voltaje.

1.5.2. Transformador

Siempre que se alimenta una red subterránea de media tensión se requiere un transformador que eleve la tensión, por ello, en este apartado se va a estudiar dicha máquina la cual podría producir el disparo de las protecciones del grupo electrógeno.

1.5.2.1. Descripción general

Se denomina transformador a un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia.

La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal (sin pérdidas), es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño y tamaño, entre otros factores.

Los transformadores trifásicos son muy importantes ya que están presentes en muchas partes del sistema eléctrico. Este tipo de transformadores se ocupa de la elevación y reducción de la tensión en diversas partes del sistema eléctrico: En generación cerca de los generadores para elevar la insuficiente tensión de estos, así como también en las líneas de transmisión y, por último, en distribución en donde se distribuye la energía

eléctrica a voltajes menores hacia casas, comercios e industrias. Todos los transformadores desde el generador hasta la entrada a nuestros hogares o industrias son transformadores trifásicos.

Un transformador trifásico consta de tres fases desplazadas en 120 grados eléctricos, en sistemas equilibrados tienen igual magnitud. Una fase consiste en un polo positivo y negativo por el que circula una corriente alterna.

Tienen tres bobinados en su primario y tres en su secundario. Pueden adoptar forma de estrella (Y) (con hilo de neutro o no) o delta-triángulo (Δ) y las combinaciones entre ellas: Δ - Δ , Δ -Y, Y- Δ y Y-Y. Hay que tener en cuenta que aún con relaciones 1:1, al pasar de Δ a Y o viceversa, las tensiones de fase varían.

La configuración Δ -Y se usa principalmente en distribución (baja tensión) con triángulo en alta y estrella en baja con neutro accesible. Esto permite que la onda sinusoidal de tercera armónica se mantenga circulando por el triángulo pero no se transmita a la estrella.

Las diferentes formas de conexión de los bobinados trifásicos de un transformador, recibe el nombre de grupo de conexionado. Además de identificar las conexiones de los bobinados primario y secundario (estrella, triángulo o zig-zag), el grupo de conexionado indica el desfase entre las tensiones de línea primaria y secundaria, de los sistemas trifásicos vinculados por el transformador. Los grupos de conexionado más comúnmente utilizados en la distribución de energía eléctrica son Dy5 (primario en triángulo, secundario en estrella, desfasaje 150 grados), Dy11 (triángulo, estrella, 330 grados), entre otros. El concepto práctico de grupo de conexionado adquiere relevancia para realizar una operación segura, durante la puesta en paralelo de transformadores.

Componentes

El núcleo

El núcleo está formado por varias chapas u hojas de metal (generalmente material ferromagnético) que están apiladas una junto a la otra, sin soldar, similar a las hojas de un libro. La función del núcleo es mantener el flujo magnético confinado dentro de él y evitar que este fluya por el aire favoreciendo las pérdidas en el núcleo y reduciendo la

eficiencia. La configuración por láminas del núcleo laminado se realiza para evitar las corrientes de Foucault, que son corriente que circulan entre láminas, indeseadas pues favorecen las pérdidas.

Bobinas

Las bobinas son simplemente alambres generalmente de cobre enrollado en las piernas del núcleo. Según el número de espiras (vueltas) alrededor de una pierna inducirá un voltaje mayor. Se juega entonces con el número de vueltas en el primario versus las del secundario. En un transformador trifásico el número de vueltas del primario y secundario debería ser igual para todas las fases.

Funcionamiento

Este elemento eléctrico se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética, ya que si aplicamos una fuerza electromotriz alterna en el devanado primario, debido a la variación de la intensidad y sentido de la corriente alterna, se produce la inducción de un flujo magnético variable en el núcleo de hierro.

Este flujo originará, por inducción electromagnética, la aparición, de una fuerza electromotriz en el devanado secundario. La tensión en el devanado secundario dependerá directamente del número de espiras que tengan los devanados y de la tensión del devanado primario.

Relación de transformación

La relación de transformación (m) de la tensión entre el bobinado primario y el bobinado secundario depende de los números de vueltas que tenga cada uno. Si el número de vueltas del secundario es el triple del primario, en el secundario habrá el triple de tensión.

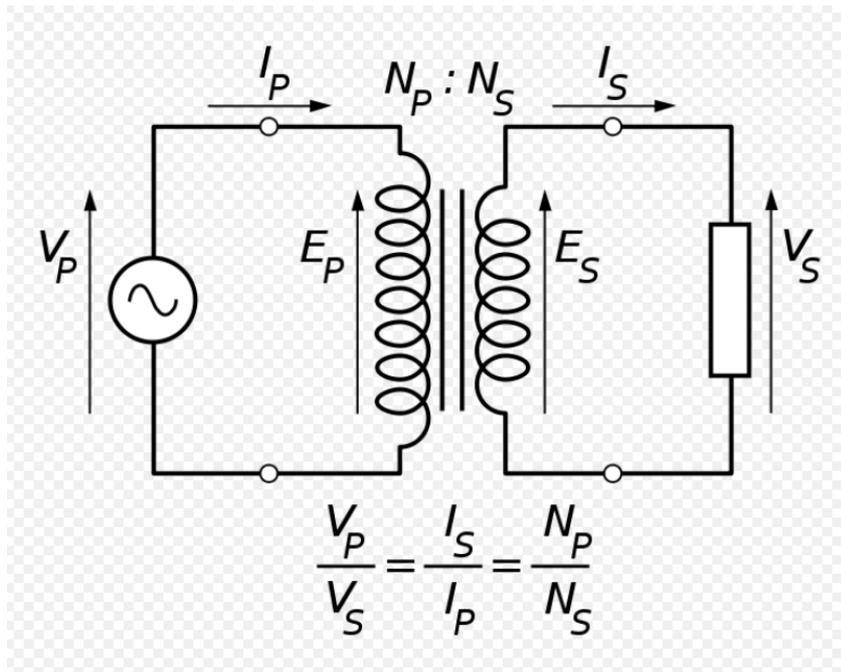


Figura 38. Relación de transformación de un transformador

Dónde: (V_p) es la tensión en el devanado primario o tensión de entrada, (V_s) es la tensión en el devanado secundario o tensión de salida, (I_p) es la corriente en el devanado primario o corriente de entrada, (I_s) es la corriente en el devanado secundario o corriente de salida.

Un vez analizado el transformador se van a estudiar los fenómenos producidos en el transformador que podrían causar el disparo de las protecciones del grupo electrógeno.

1.5.2.2. Corriente de Inrush

Cuando se energiza un transformador, por causa de la magnetización del núcleo de hierro, aparece en el bobinado primario una corriente transitoria conocida como “corriente inrush” la cual se presenta como picos transitorios cuya amplitud puede llegar a ser de 100 veces la corriente de vacío de régimen permanente del transformador, o si se considera que esta corriente es del 10 al 20% de la corriente nominal, se alcanzarán corrientes instantáneas de 10 a 20 veces la nominal.

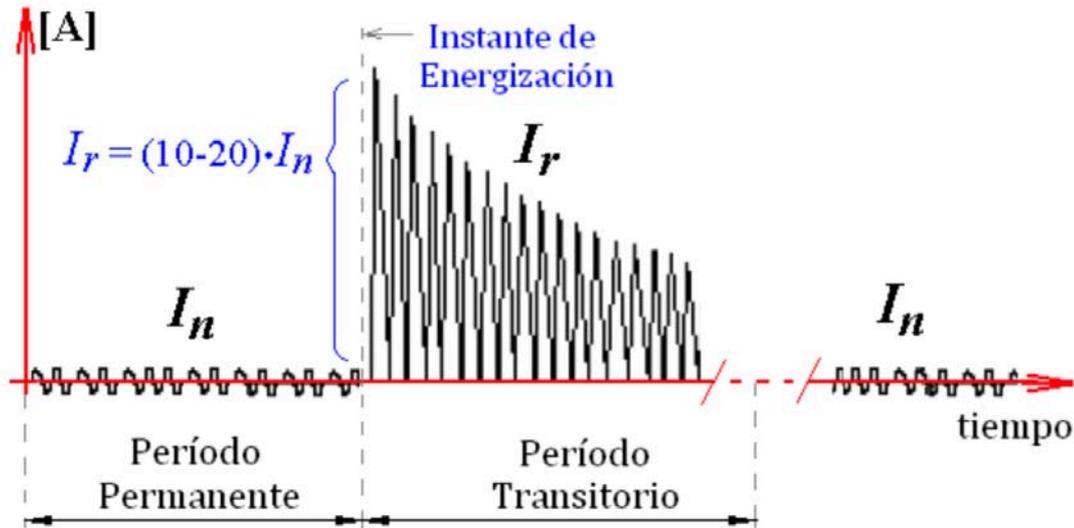


Figura 39. Relación entre I_n e I_r

Explicación del fenómeno

En condiciones de no saturación, cuando se energiza un transformador, se produce una variación del flujo en el núcleo que provoca una fuerza contraelectromotriz que contrarresta la tensión aplicada al primario del transformador. Cuando se aplica una tensión elevada se alcanza el flujo de saturación y la corriente sufre un brusco incremento para intentar producir la variación de flujo que contrarreste dicha tensión.

Dicho de otra forma: en condiciones de no saturación, el transformador tiene una inductancia magnetizante importante, pero al alcanzar la saturación disminuye dicha inductancia y da lugar a un pico de corriente.

Es un fenómeno transitorio el cual no debe ser una condición de falla, por lo que no debe actuar la protección, la que por el contrario debe permanecer estable durante ese transitorio.

El valor de la corriente Inrush depende del punto en el que la onda de corriente alterna cruce por cero. El máximo valor de la corriente Inrush se presenta cuando se energiza el transformador en el momento en que el voltaje es cero.

La energización de grandes transformadores de potencia usualmente se realiza mediante el cierre simultáneo de las tres fases de un interruptor, dejando al azar el instante de la conexión, este proceso origina la presencia de grandes corrientes inrush que pueden presentarse en las tres fases y en el neutro. Es diferente en cada fase del transformador, debido a que en sistemas trifásicos las ondas de voltaje correspondientes a las fases están separadas 120° eléctricos y el cierre del interruptor de potencia es simultáneo en las tres fases, por lo que en el momento del cierre del interruptor, las tres ondas de voltaje se encuentran en diferentes puntos.

Además, la corriente de magnetización contiene una proporción de armónicos que va en aumento a medida que la densidad de flujo del transformador llega a la saturación.

Aunque no será motivo del disparo de las protecciones del grupo electrógeno, a continuación, se va a explicar debido a que dicho fenómeno es habitual siempre que se alimenta un transformador con grupo electrógeno produciéndose una gran distorsión armónica.

1.5.2.3. Distorsión armónica

Desde el punto de vista de calidad de energía, la corriente inrush puede ser considerada como una onda distorsionada que resulta en una distorsión armónica.

Las corrientes inrush contienen todas las componentes armónicas. Sin embargo, apenas la 2a y 3a son relevantes. La componente DC también puede ser significativa durante los primeros ciclos dependiendo del flujo residual.

Los armónicos más significativos son:

- Componente DC o off-set: una corriente DC puede siempre ser encontrada en la corriente inrush, con valores diferentes para cada fase. El valor de off-set es una función del flujo residual.
- 2a armónica: se encuentra presente en todas las fases de la corriente inrush. Su valor es una función del grado de saturación del transformador siendo el mínimo

valor de esta componente cerca de 20% del valor de la corriente inrush en la mayoría de los transformadores.

- 3a armónica: puede ser encontrada con la misma magnitud de la 2a armónica y son producidas por la saturación del núcleo.

Mientras la onda de tensión se mantenga simétrica respecto al eje horizontal, sólo se presentarán armónicas impares. Esta condición es típica para corrientes alternas circulando a través de impedancias que no tengan propiedades polarizantes direccionales. La corriente magnetizante de un transformador contendrá una tercera armónica y, progresivamente, proporciones menores de quinta, séptima, etc. Si el grado de saturación va en aumento, no sólo se incrementará el total de armónicas, sino que la proporción relativa de la quinta aumentará y eventualmente superará a la tercera armónica. A un grado mayor, la séptima armónica superará a la quinta, pero esto significa un grado de saturación tal, que no se dará en la práctica en un transformador. Las condiciones de conexión que den como resultado una corriente de irrupción desplazada, producen una forma de onda que no es simétrica respecto al eje horizontal, pero que es simétrica, con despreciable disminución de amplitud, respecto a otras ordenadas. Tal tipo de ondas contienen armónicas tanto pares como impares. Una típica onda de corriente de inrush contiene cantidades importantes de segunda y tercera armónica, y cantidades decrecientes de las de orden superior. A medida que la onda se estabiliza, la proporción de armónicas varía con el grado de saturación, de modo que cuando una onda de magnetización severa va disminuyendo en su valor, la composición de armónicas de la corriente va pasando por una variada gama de valores.

1.5.3. Cables subterráneos de media tensión

El último elemento que interviene es el cable subterráneo de media tensión. En este apartado se va analizar tanto el cable subterráneo de media tensión como su posible relación con los disparos de las protecciones del grupo electrógeno.

1.5.3.1. Componentes de un cable aislado

Previo al análisis de las posibles causas que podrían originar el disparo de las protecciones del grupo electrógeno se va a analizar al detalle los componentes de un cable aislado.

La función primaria del cable es el transporte de energía de forma fiable entre la fuente y el equipo de utilización.

Los cables varían enormemente en su diseño y en sus particularidades constructivas, sin embargo todos presentan tres partes fundamentales:

- **El conductor metálico** que ofrece un camino fácil a la corriente.
- **El aislante del cable**, también llamado dieléctrico, que previene del contacto directo entre el cable energizado y otros objetos.
- **La protección externa**, que previene del ingreso de humedad, daño mecánico, ataque químico, fuego o cualquier otra influencia perjudicial para el cable.



Figura 40. Componentes de un cable aislado

El conductor metálico.

El conductor es un elemento mecánico, permeable al paso de la corriente eléctrica y que por tanto cumple la misión de trasladar la energía de un extremo al otro con las menores pérdidas posibles. Los materiales conductores comúnmente usados son el cobre y el aluminio.

A la hora de hablar de la composición de los conductores, hay que identificar una serie de nombres usados:

- **Hilo**, es el conductor constituido por un solo alambre. Cuando es de gran sección, se le denomina *barra* o *barron*.
- **Cuerda**, conjunto de hilos que, torcidos, forman un solo cuerpo más o menos grueso, largo y más o menos flexible.
- **Filástica**, cuerda formada por un conjunto de hilos de pequeño diámetro que, sola o torcida con otras semejantes, constituye el conductor de un cable flexible.
- **Alma**, es el conjunto formado por el conductor y su correspondiente aislamiento.

El aislante del cable.

Un material aislante es aquel que, debido a que los electrones de sus átomos están fuertemente ligados a sus núcleos, no permite el fácil desplazamiento de la corriente eléctrica cuando se aplica una diferencia de potencial entre dos puntos del mismo.

La dificultad que presentan al paso de la corriente eléctrica, esto es su resistencia eléctrica, es mucho más elevada que la que presenta el conductor.

El material aislante se coloca alrededor del conductor, de tal manera que lo cubra totalmente. El espesor debe ser el adecuado para la tensión de servicio del cable, con el fin de que el campo eléctrico al que está sometido el aislamiento sea muy inferior a la

rigidez dieléctrica del medio. El espesor del aislamiento no depende de la potencia que debe transportar el cable.

Los tipos generales de aislamiento son:

- **Papel:**
 - Impregnado no migrante
 - Impregnado migrante
 - Aceite fluido
- **Dieléctricos sintéticos:**
 - Termoplásticos
 - Termoestables

➤ **Papel impregnado**

Los cables de papel están hechos de largos rollos de celulosa lo más pura posible. La mayoría de esta celulosa está obtenida a partir de pino y abeto. Mediante lavados especiales se eliminan prácticamente todas las sales solubles, lo que mejora considerablemente el factor de pérdidas a altas temperaturas.

El conductor es aislado con este papel de alta calidad, con un grosor determinado según el nivel de tensión. El papel se usa en forma de cinta, capa por capa, creando una hélice. De esta manera, el cable puede ser doblado sin afectar al aislamiento, al solaparse las diferentes cintas.

Configuración del campo eléctrico en cables de papel

Corresponden a la denominación de cables a campo **no radial** los elaborados con envoltura aislante común. Son cables tripolares y con una sola envoltura de plomo.

ANÁLISIS DEL PROBLEMA

En los cables a campo **radial** se considera un solo espesor aislante, el de cada conductor aislado, mientras en los cables con envoltura aislante común deben considerarse dos:

- El espesor aislante entre conductor y conductor.
- El espesor aislante entre conductor y cubierta metálica.

Pertenece al grupo de los cables a **campo radial**:

- Los cables unipolares.
- Los cables formados por tres cables unipolares, cada uno protegido por su propio tubo de plomo.

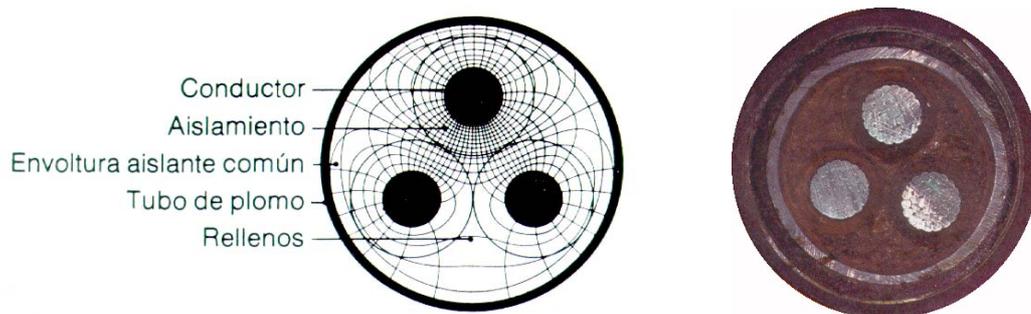


Figura 41. Cable a campo NO RADIAL tipo (PP)

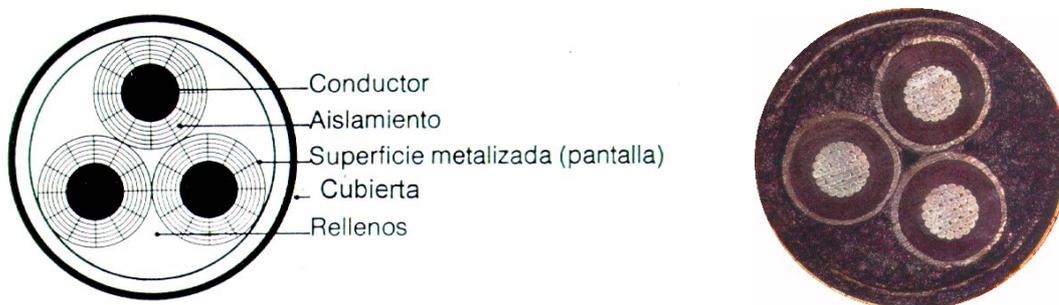


Figura 42. Cable a campo RADIAL tipo (P3P)

➤ **Dieléctricos sintéticos (cables secos)**

Los dieléctricos sintéticos están realizados con materiales sólidos conocidos vulgarmente como plásticos. Estos plásticos son generalmente compuestos poliméricos.

Los polímeros son clasificados según sus propiedades físicas como:

- Termoplásticos
- Termoestables

Los materiales **termoplásticos** se ablandan con el calor y la presión. Tras ser enfriados, se pueden volver a moldear, al ser sometidos a la acción de la temperatura, conservando sus propiedades intrínsecas a lo largo de todos los tratamientos de este tipo.

Los materiales **termoestables** son aquellos que sometidos al calor y a la presión se endurecen y no funden. Después de enfriados ya no se ablandan por un nuevo calentamiento. No son solubles en los disolventes y no pueden ser recuperados para segundas transformaciones.

También se puede hablar de materiales **elastómeros**, que presentan la propiedad de ser elásticos, con una gran velocidad de recuperación cuando cesa el esfuerzo.

Sin embargo, en la actualidad están cobrando gran importancia materiales que no pueden encuadrarse en ninguna de estas categorías. Por ejemplo, el polietileno reticulado se comporta como un elastómero cerca de su punto de fusión, mientras que a temperaturas más bajas se comporta como un aislante termoplástico.

Los más usuales en la fabricación de cables eléctricos son: Policloruro de Vinilo (PVC), Polietileno lineal (PE), Poliolefinas (Z1), Poliuretano (PU), Fluorados (Tefzel, Teflón), etc.

Cloruro de polivinilo (PVC)

El PVC es uno de los materiales aislantes más usados en la fabricación de cables. El material básico, el cloruro de polivinilo, es producido por la cloración del etileno.

Polietileno (PE)

El polietileno es una macromolécula de estructura similar a las parafinas.

Este material posee excelentes propiedades dieléctricas por lo que es utilizado en la fabricación de cables, tanto en la forma reticulada (XLPE), como sin reticular (PE).

Polietileno reticulado (XLPE)

En el polietileno reticulado, las cadenas lineales de polietileno son unidas mediante el proceso de reticulación, formando una red tridimensional. De este modo se obtiene un material termoplástico a temperatura ambiente, que a temperaturas próximas al punto de fusión ofrece las características de un elastómero. Así, las propiedades mecánicas, como la estabilidad térmica, mejoran de manera ostensible.

Etileno-propileno (EPR)

El EPR es un copolímero de baja densidad, sin carbonos con dobles enlaces, es decir, es un polímero completamente saturado, lo que dificulta el proceso de reticulación. Dicho proceso es muy similar al del polietileno.

Mezclando EPR con PE se obtienen compuestos con elevadas propiedades mecánicas y alta dureza, mejorándose también las propiedades eléctricas. Este tipo de compuestos es conocido como **HEPR**.

El EPR mejora sensiblemente la resistencia a la humedad del XLPE, hasta tal punto que está siendo empleado en la fabricación de cables submarinos, en los que el aislamiento está en contacto directo con el agua de mar, sin protección adicional alguna. Su debilidad relativa frente al XLPE es su mayor factor de pérdidas, y sobre todo una mayor resistencia térmica, lo que reduce su carga máxima admisible en servicio permanente (un 5% menor con relación al XLPE). En algunos textos se dice que la resistencia del aislamiento del XLPE es algo mayor que la del EPR, pero se omite que al cabo de pocos meses de estar en servicio, el valor de la resistencia del XLPE cae por debajo de la del EPR.

La protección externa.

El conductor y el aislamiento forman el cable desde el punto de vista eléctrico. De hecho, en los casos más sencillos, hay cables que no disponen de elementos de protección. Sin embargo, lo más frecuente es que, a estos elementos, se les añadan otros más, cuya misión es la de proteger al cable contra los distintos tipos de agresiones.

Según la naturaleza de la protección que este elemento haya de procurar se distinguen dos tipos de protecciones.

- **Protecciones contra daños de origen eléctrico:**
 - Capas semiconductoras.
 - Pantallas.

- **Protecciones contra daños de origen mecánico:**
 - Armaduras.
 - Cubiertas (interiores o exteriores).

Capas semiconductoras

Las capas semiconductoras son delgadas capas de polímero, generalmente de la misma composición que el material aislante, que se ha mezclado con productos conductores, tales como el negro de humo, para reducir su resistencia de aislamiento, que se coloca en los cables de aislamiento seco de tensión superior a los 1.8/3 kV, en el caso del XLPE, y a partir de los 3.6/6 kV, en el caso de EPR. Su misión es la de evitar que puntos huecos del cable estén sometidos a campos eléctricos intensos. Dichos campos podrían, en presencia de agua o de aire, dar origen a la producción de descargas parciales.

Se diferencian dos tipos de capas semiconductoras:

La semiconductora interna tiene como misión eliminar los rizados del campo eléctrico en la superficie del conductor, haciéndolo perfectamente cilíndrico

La semiconductora externa cumple una función similar en la parte exterior del aislamiento. Esta capa está en contacto con la pantalla, manteniéndose al potencial de tierra.

En los cables unipolares aislados con papel impregnado, esta función la efectúa el tubo de plomo. Las tres capas que cubren el conductor de un cable seco: semiconductora interna, aislante y semiconductora externa, pueden ser aplicadas al conductor al mismo tiempo, en un proceso que se conoce como *triple extrusión*.

Pantalla

Las pantallas son elementos de protección eléctrica, cuya misión puede ser la de dar forma cilíndrica al campo eléctrico que rodea un conductor, derivar a tierra una eventual corriente de defecto, etc.

Según sea la misión fundamental que ha de desarrollar, la pantalla puede estar constituida por una simple cinta de papel metalizado, una trenza de hilos de cobre, una trenza mixta de hilos textiles y de cobre, o una corona mixta de hilos de cobre y acero.

Armadura

Las armaduras son elementos metálicos, cuya misión característica es la protección mecánica. Pueden diseñarse para proteger el cable contra esfuerzos cortantes, de tracción, contra roedores, etc.

Cubiertas

Reciben el nombre genérico de cubiertas, aquellos elementos de protección mecánica no metálicos, que sirven para proteger el cable contra agentes externos: químicos,

biológicos, atmosféricos, abrasivos, etc., o para mejorar determinadas características internas que le permitan cumplir las especificaciones: materiales de relleno para dar forma cilíndrica a los cables multiconductores, elementos portantes en los cables destinados a soportar esfuerzos de tracción, barreras antillama en los cables resistentes al fuego, etc.

Los principales materiales usados en las cubiertas son: PVC, PE termoplástico, Z1 de poliolefina y fibras betunadas (yute).

1.5.3.2. Efecto capacitivo de las líneas subterráneas

Es sabido que los cables subterráneos de las redes de distribución tienen un efecto capacitivo importante, que depende de su nivel de tensión, tipo de aislamiento y su longitud.

Un cable subterráneo, al igual que un condensador se compone de dos elementos a distinta tensión separados por un aislamiento. En el caso del cable subterráneo, la diferencia de tensión tiene lugar entre la fase y la pantalla (tierra), dando lugar a un efecto capacitivo.

Se puede ver un cable subterráneo como muchos condensadores pequeños conectados en paralelo. Cuanto mayor sea la longitud del cable, mayor número de condensadores habrá conectados, por lo tanto el efecto capacitivo final, será la suma del efecto de cada uno de ellos.

Representado esquemáticamente se tendría:

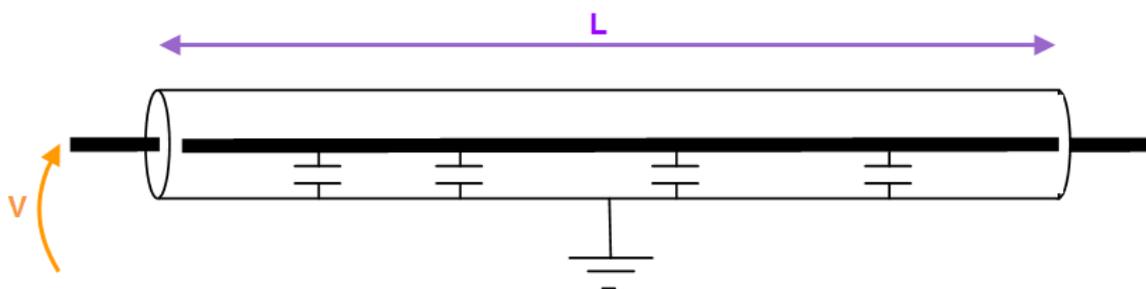


Figura 43. Representación del efecto capacitivo de un cable subterráneo

De esta manera, un cable subterráneo energizado actúa de la misma manera que un condensador fijo conectado a tierra en cada una de las fases. Esto hace que el grupo electrógeno perciba la red como una carga capacitiva.

Dicha carga provoca dos principales fenómenos:

- Transitorio de corriente de conexión
- Aumento de la tensión.

Cuando se produce el cierre de un interruptor asociado a una carga capacitiva, se manifiesta un pico transitorio de corriente, de elevada frecuencia y amplitud (1 a 10kHz). La amplitud dependerá de varios factores como la impedancia característica del sistema en el punto de conexión del equipo, potencia de cortocircuito (CC), si hay capacitores ya conectados, etc. pero puede llegar a ser varias veces superior a la corriente nominal del capacitor (100 o 200 veces la intensidad nominal).

El otro fenómeno a tener en cuenta es el aumento de la tensión que se produce al alimentar una carga capacitiva el cual es mayor en cuanto mayor es la capacidad de la carga. Este fenómeno se ha estudiado en el apartado de *Características externas del alternador* en el cual se observaba en la figura 30 como aumentaba la tensión en bornes al conectar una carga capacitiva al generador síncrono debido al efecto magnetizante.

Dicho efecto se produce al encontrarse en la misma dirección el campo de reacción de armadura y el campo principal, y con la misma polaridad.

Debido a este efecto será necesario reducir la corriente de excitación para mantener la tensión nominal.

1.5.3.3. Cables instalados en Iberdrola

Como se ha estudiado en el apartado anterior, los cables subterráneos de media tensión se comportan como una carga capacitiva la cual puede ser la culpable del disparo. Por ello, en los apartados siguientes se van a identificar los tipos de cables que hay instalados, analizándolos y detallando las características eléctricas que producen por kilómetro.

1.5.3.3.1. Identificación de los cables instalados.

PAPEL	UN PLOMO	UNIPOLAR	□ PPJ Sin fleje y cubierta de fibras (Yute)
			□ PPV Sin fleje y cubierta de PVC
			□ PPFJ Con fleje y cubierta de fibras (Yute)
			□ PPFV Con fleje y cubierta PVC
			□ PPJ Sin fleje y cubierta de fibras (Yute)
	TRES PLOMOS	TRIPOLAR	□ PPV Sin fleje y cubierta de PVC
			□ PPJFJ Con fleje, rellenos y cubierta (Yute)
			□ PPJFV Con fleje, rellenos y cubierta de PVC
			□ P3PJFJ Con fleje, rellenos y cubierta de fibras (Yute)
			□ P3PJFV Con fleje, rellenos y cubierta de (PVC)
			□ P3(PV)JFV Con fleje, rellenos y cada plomo cubierto de una capa de PVC y cubierta exterior de PVC (no frecuente)

Tabla 12. Identificación de los cables instalados de aislamiento de papel

SECO	PE-PVC	□ E H V Polietileno con cubierta de PVC y pantalla metálica
		□ R H V Polietileno Reticulado, con cubierta de PVC y pantalla metálica
	EPR	□ D H V Etileno Propileno, con cubierta PVC y pantalla de hilos de cobre
		□ D H Z1 Etileno Propileno, con cubierta Poliolefina y pantalla de hilos de cobre
		□ HEPRZ1 Etileno Propileno alto Módulo, con cubierta Poliolefina y pantalla de hilos de cobre

Tabla 13. Identificación de los cables instalados de aislamiento seco

❖ Cables de aislamiento de papel de un plomo PP

• Cable P P J

Cable de aislamiento de papel impregnado, con una envoltura de plomo, sin fleje y cubierta de fibras betunadas, conductor de cobre y aluminio, también conocidos como cables RB.



Figura 44. Cable PPJ

• Cable P P V

Cable de aislamiento papel impregnado, con una envoltura de plomo, sin fleje y cubierta de materias plásticas PVC, conductor de cobre y aluminio, también conocidos como cables RB



Figura 45. Cable PPV

• **Cable P P J F J**

Cable de aislamiento de papel impregnado, con una envoltura de plomo, con fleje y cubierta de fibras betunadas, normalmente trifásicos, conductor de cobre y aluminio, también conocidos como cables RF.

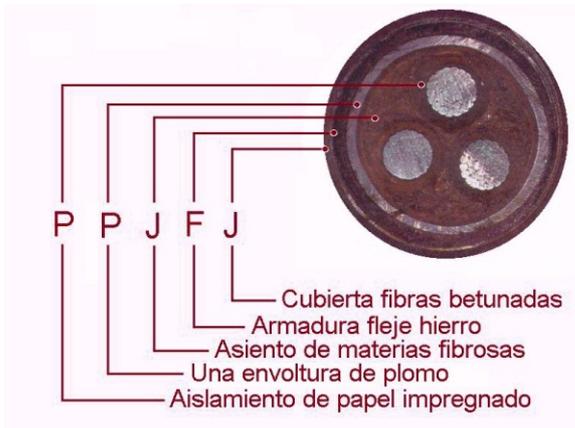


Figura 46. Cable PPJFJ

• **Cable P P J F V**

Cable de aislamiento de papel impregnado, con una envoltura de plomo, con fleje y cubierta de materias plásticas PVC, normalmente trifásicos, conductor de cobre y aluminio, también conocidos como cables RF.

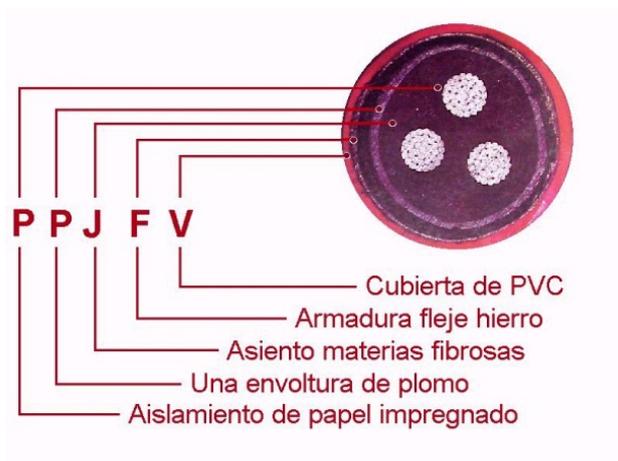


Figura 47. Cable PPJFV

❖ **Cable aislamiento de papel tres plomos P3P**

• **Cable P 3P J F J**

Cable de aislamiento de papel impregnado, con tres envolturas de plomo, con fleje y cubierta de fibras betunadas, conductor de cobre y aluminio



Figura 48. Cable P3PJFJ

• **Cable P 3P J F V**

Cable de aislamiento de papel impregnado, con tres envolturas de plomo, con fleje y cubierta de materias plásticas, conductor de cobre y aluminio

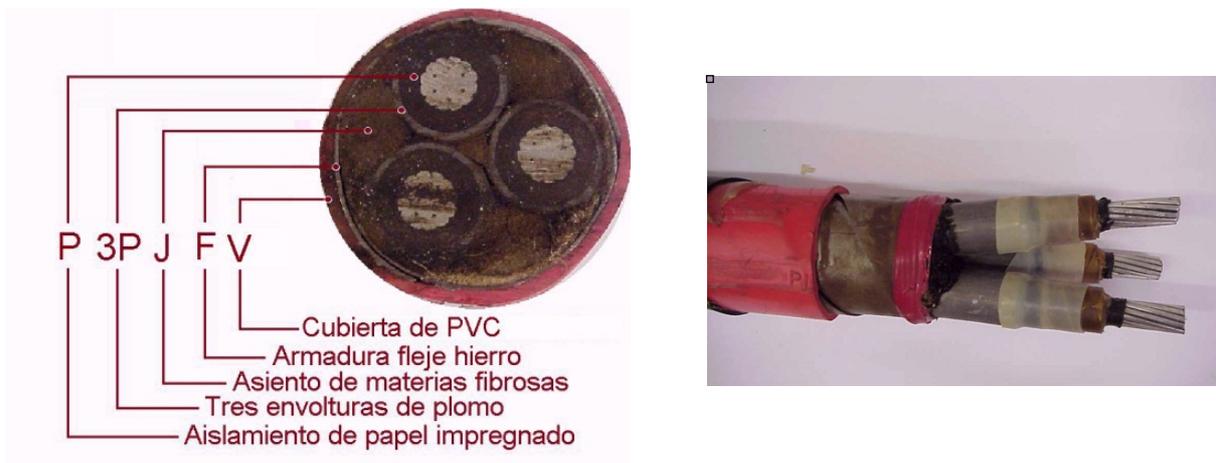


Figura 49. Cable P3PJFV

- **Cable P 3 (PV) J F V**

Cable de aislamiento de papel impregnado, con tres envolturas de plomo y cada plomo con una capa de PVC, con fleje y cubierta de materias plásticas, conductor de cobre y aluminio.



Figura 50. Cable P3(PV)JFV

- ❖ **Cables de aislamiento seco**

- **Cable E H V**

Cable de aislamiento seco PE, Polietileno, color del aislamiento gris oscuro.

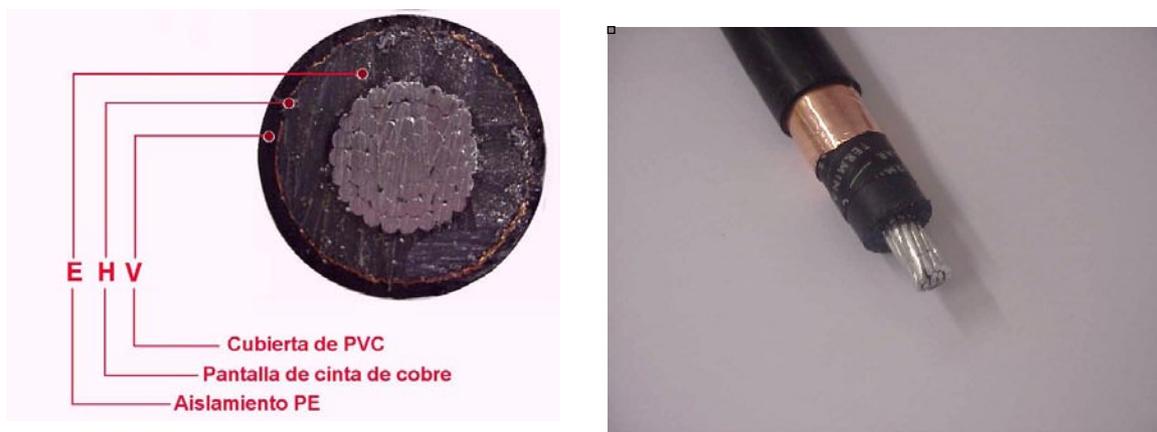


Figura 51. Cable EHV

• **Cable R H V**

Cable de aislamiento Polietileno Reticulado (XLPE), color del aislamiento gris transparente.



Figura 52. Cable RHV

• **Cable D H V**

Cable de aislamiento Etileno Propileno (EPR), color del aislamiento rosado, con cubierta de materias plásticas (PVC).

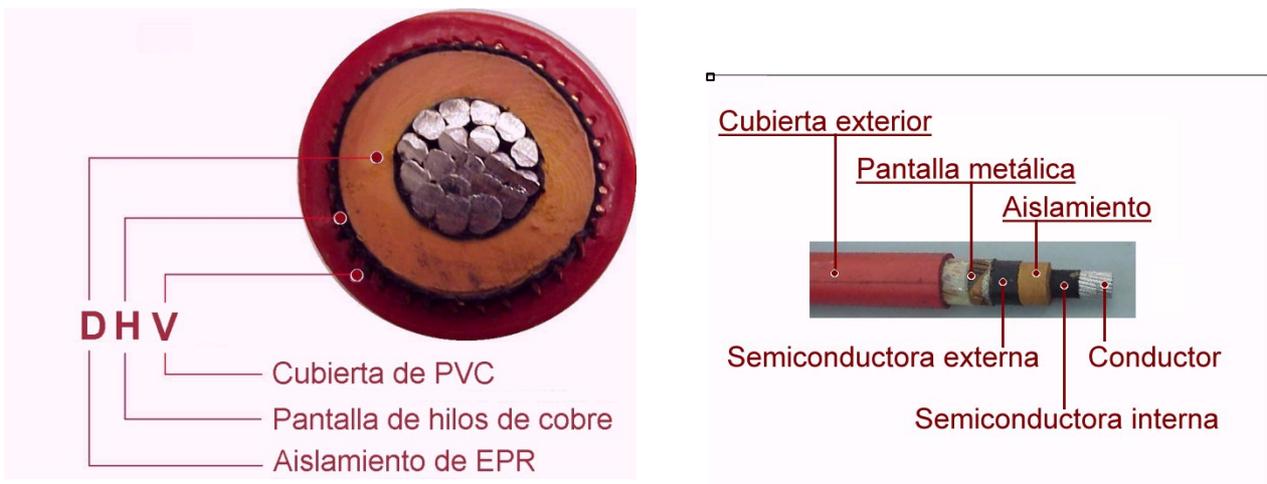


Figura 53. Cable DHV

• **Cable D H Z1**

Cable de aislamiento Etileno Propileno (EPR), color del aislamiento rosado, con cubierta de Poliolefina (Z1), el espesor del aislamiento para 12/20 kV es 5,5 mm.

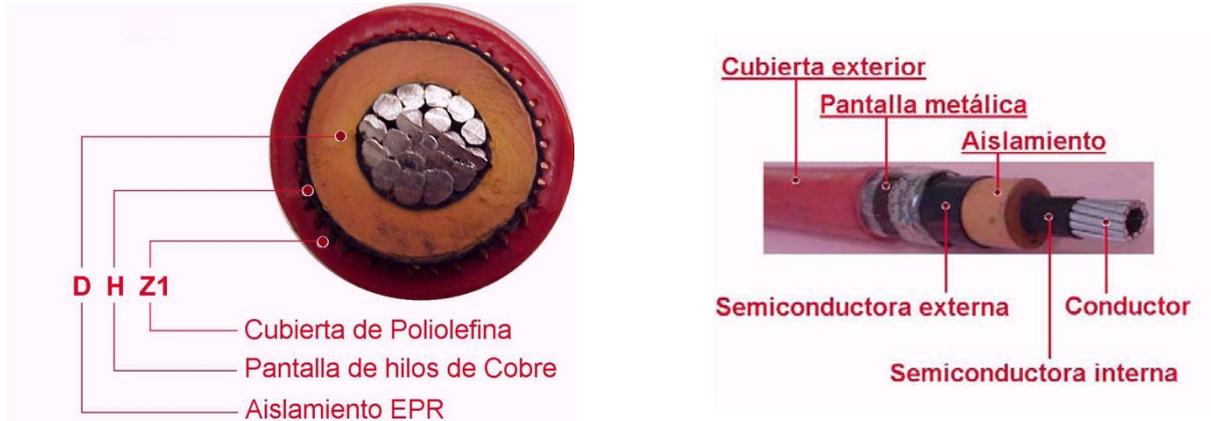


Figura 54. Cable DHZ1

• **Cable HEPRZ1**

Cable de aislamiento Etileno Propileno de alto módulo (HEPR), color aislamiento rosado, con cubierta de Poliolefina (Z1), el espesor del aislamiento para 12/20 kV es 4,3 mm.

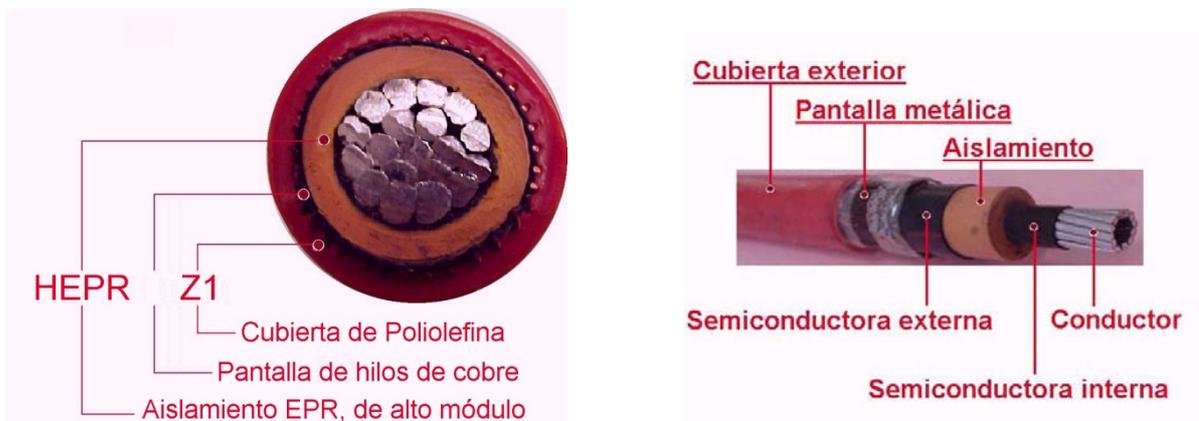


Figura 55. Cable HEPRZ1

1.5.3.3.2. Tabla con los tipos de cables instalados y sus características eléctricas.

Para calcular el efecto capacitivo de una línea en primer lugar es necesario disponer del valor de capacitancia de la misma.

La capacitancia es un parámetro eléctrico que se expresa en Faradios (F) por kilómetro. Para poder estimar cuanta potencia reactiva por kilómetro va a generar un cable al ser puesto en tensión, es necesario pasar de Faradios a kVAr.

En el caso de las líneas perteneciente a Iberdrola, deben reunir unas características mínimas contempladas en las Normas Internas de Iberdrola.

Iberdrola me facilita un Excel con todos los tipos de líneas instaladas y con sus características eléctricas recopiladas con los datos técnicos del fabricante.

TIPO DE CABLE	R Ω /km	X Ω /km	C μ F/km
DHV 12/20KV 1X150 AL CIRC.C H-16 R SE	0,26	0,11	0,2967
DHV 12/20KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE	0,16	0,1	0,3686
DHV 12/20KV 1X400 AL CIRC.C H-16 R SE	0,1	0,09	0,4341
DHV 12/20KV 1X50 CU CIRC.NC H-16 R SE	0,49	0,13	0,2052
DHV 12/20KV 1X95 AL CIRC.C H-16 R SE	0,4	0,12	0,2557
DHV 18/30KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE	0,12	0,1	0,2746
DHV 18/30KV 1X95 AL CIRC.C H-16 R SE	0,32	0,13	0,1957
DHVS 12/20KV 3(1X150)AL C.C H-16+1*50AC R SE	0,2	0,1	0,2967
DHZ1 12/20 KV 1X150 AL CIRC.C H-16 R SE	0,2	0,11	0,2967
DHZ1 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE	0,12	0,1	0,3686
DHZ1 12/20 KV 1X400 AL CIRC.C H-16 R SE	0,07	0,09	0,4341
DHZ1 12/20 KV 1X50 AL CIRC.C H-16 R SE	0,64	0,13	0,2052
DHZ1 12/20 KV 1X95 AL CIRC.C H-16 R SE	0,32	0,12	0,2557
DHZ1 18/30 KV 1X150 AL CIRC.C H-25 R SE	0,2	0,11	0,2249
DHZ1 18/30 KV 1X240 AL CIRC.C H-25 R SE	0,12	0,1	0,2746
DHZ1 26/45 KV 1X150 AL CIRC.C H-25 R SE	0,2	0,11	0,23
EHV 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE	0,15	0,1	0,9092
HEPRZ1 (AS) 12/20 KV 1X150 K AL +H16	0,2	0,11	0,3678
HEPRZ1 (AS) 12/20 KV 1X240 K AL +H16	0,12	0,1	0,4522
HEPRZ1 (AS) 12/20 KV 1X400 K AL +H16	0,07	0,09	0,5351
HEPRZ1 (S) 12/20 KV 1X150 K AL+H16	0,2	0,11	0,3678

ANÁLISIS DEL PROBLEMA

HEPRZ1 (S) 12/20 KV 1X240 K AL +H16	0,12	0,1	0,4522
HEPRZ1 (S) 12/20 KV 1X400 K AL +H16	0,07	0,09	0,5351
HEPRZ1 (S) 18/30 KV 1X240 K AL+H25	0,12	0,11	0,3378
HEPRZ1 12/20 KV 1X150 AL CIRC.C H-16 R SE	0,2	0,11	0,3678
HEPRZ1 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE	0,12	0,1	0,4522
HEPRZ1 12/20 KV 1X400 AL CIRC.C H-16 R SE	0,07	0,09	0,5351
HEPRZ1 12/20 KV 1X50 AL CIRC.C H-16 R SE	0,64	0,13	0,2486
HEPRZ1 12/20 KV 1X95 AL CIRC.C H-16 SE	0,317	0,121	0,29
HEPRZ1 18/30 KV 1X150 AL CIRC.C H-25 R SE	0,2	0,12	0,2652
HEPRZ1 18/30 KV 1X240 AL CIRC.C H-25 R SE	0,12	0,11	0,3378
HEPRZ1 18/30 KV 1X400 AL CIRC.C H-25 R SE	0,07	0,1	0,4001
HEPRZ1 18/30 KV 1X50 AL CIRC.C H-16 R SE	0,64	0,14	0,1602
HEPRZ1 36/66 KV 1X1000 AL CIRC.C H-50 SE-EP	0,0291	0,177	0,245
HEPRZ1 36/66 KV 1X300 AL CIRC.C H-25 R SE	0,1	0,12	0,2226
HEPRZ1 36/66 KV 1X500 AL CIRC.C H-25 R SE	0,06	0,11	0,267
P3PFJ 12/20 KV 3X150 AL CIRC.C 3P R PA	0,25	0,1	0,4096
P3PFJ 12/20 KV 3X150 CU CIRC.C 3P R PA	0,15	0,1	0,4096
P3PFJ 12/20 KV 3X240 CU CIRC.NC 3P R PA	0,09	0,09	0,509
P3PFJ 12/20 KV 3X50 CU CIRC.NC 3P R PA	0,47	0,12	0,2794
P3PFJ 12/20 KV 3X95 AL CIRC.C 3P R PA	0,39	0,11	0,3496
P3PFJ 12/20 KV 3X95 CU CIRC.C 3P R PA	0,24	0,11	0,3496
P3PFJV 12/20 KV 3(1X150) AL CIRC.C R PA	0,206	0,103	0,33
P3PFJV 12/20KV 3(1X150)AL CIRC.C 3P-390 R PA	0,25	0,1	0,4096
P3PFJV 12/20KV 3(1X50)AL CIR.NC 3P-236,4 R PA	0,79	0,12	0,2794
P3PFJV 12/20KV 3(1X95)AL CIRC.C 3P-323,1 R PA	0,39	0,11	0,3496
P3PFJV 18/30KV 3(1X150)AL CIR.C 3P-442,5 R PA	0,2	0,11	0,3196
P3PFJV 18/30KV 3(1X240)AL CIR.C 3P-570,3 R PA	0,12	0,1	0,3891
P3PFJV 18/30KV 3(1X50)CU CIR.NC 3P-341,7 R PA	0,38	0,13	0,2194
P3PFJV 18/30KV 3(1X95)AL CIRC.C 3P-401,4 R PA	0,32	0,11	0,2794
P3PVJFV 12/20 KV 3X150 AL CIRC.C 3P R PA	0,25	0,1	0,4096
P3PVJFV 12/20 KV 3X95 AL CIRC.C 3P R PA	0,39	0,11	0,3496
PPF 12/15KV 3X25 CU CIRC.NC NR PA	0,89	0,13	0,1594
PPF 12/15KV 3X50 CU CIRC.NC NR PA	0,47	0,12	0,2399
PPF 12/15KV 3X70 CU CIRC.NC NR PA	0,33	0,11	0,2596
PPF 12/15KV 3X95 CU CIRC.NC NR PA	0,24	0,11	0,2896
PPFAV 18/30KV 1X95 AL CIRC.C P-133,8 R PA	0,32	0,21	0,2794
PPFAV 26/45 KV 1X95 AL RA	0,32	0,21	0,2099
PPFJ 12/15KV 3X160 AL CIRC.C P NR PA	0,24	0,1	0,3291
PPFJ 12/15KV 3X50 AL CIRC.C P NR PA	0,79	0,12	0,2399
PPFV 12/15KV 3(1X150) AL CIRC.C P-402,4 NR PA	0,25	0,1	0,3196
PPFV 12/15KV 3(1X70) CU CIRC.C P-285,2 NR PA	0,33	0,11	0,2596
PPFV 12/15KV 3(1X95) CU CIRC.C P-325,2 NR PA	0,24	0,11	0,2896
PPJ 12/15 KV 3X160 CU CIRC.C P NR PA	0,19	0,1	0,3291
PPJ 12/15 KV 3X25 CU CIRC.NC P NR PA	1,49	0,13	0,1594
PPJ 12/15 KV 3X50 CU CIRC.C P NR PA	0,47	0,12	0,2399

PPJ 12/15KV 3X125 AL CIRC.C P NR PA	0,31	0,1	0,3094
PPJ 12/15KV 3X70 AL CIRC.C P NR PA	0,55	0,11	0,2596
PPV 12/20KV 1X150 AL CIRC.C P-130 R PA	0,25	0,13	0,4096
PPV 12/20KV 1X240 AL CIRC.C P R PA	0,15	0,16	0,509
PPV 12/20KV 1X240 AL CIRC.C P-159,3 R PA	0,15	0,16	0,509
PPV 12/20KV 1X400 AL CIRC.C P R PA	0,09	0,15	0,599
RB 12/15 KV 3X100 CU CIRC.C P-325,2 NR PA	0,23	0,11	0,2991
RB 12/15 KV 3X50 CU CIRC.C P-235,2 NR PA	0,47	0,12	0,2399
RB 12/15 KV 3X70 CU CIRC.C P-285,9 NR PA	0,33	0,11	0,2596
RF 12/15 KV 3X100 CU CIRC.C P-325,2 NR PA	0,23	0,11	0,2991
RF 12/15 KV 3X25 CU CIRC.C P-235,2 NR PA	0,89	0,13	0,1594
RF 12/15 KV 3X50 CU CIRC.C P-235,2 NR PA	0,47	0,12	0,2399
RF 12/15 KV 3X70 CU CIRC.C P-285,9 NR PA	0,33	0,11	0,2596
RHZ1-OL 12/20 KV AL 1X240 CIRC.C H16 R SE	0,12	0,101	0,295
RHZ1-OL 18/30 KV AL 1X240 CIRC.C H25 R SE	0,12	0,102	0,221
XHV-RHV 12/20KV 1X150 AL CIRC.C H-16 R SE	0,26	0,11	0,2557
XHV-RHV 12/20KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE	0,16	0,1	0,3173
XHV-RHV 12/20KV 1X25 AL CIRC.C H-16 R SE	1,2	0,14	0,1602
XHV-RHV 12/20KV 1X35 CU CIRC.C H-16 R SE	0,66	0,14	0,1602
XHV-RHV 12/20KV 1X50 AL CIRC.C H-16 R SE	0,8	0,13	0,1776
XHV-RHV 12/20KV 1X95 AL CIRC.C H-16 R SE	0,4	0,12	0,2202
XHV-RHV 26/45KV 1X150 AL CIRC.C H-25 R SE	0,26	0,13	0,1889
XHVZ-RHVZ 12/20KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE	0,12	0,09	0,3173
XHVZ-RHVZ 12/20KV 1X35 CU CIRC.C H-16 R SE	0,52	0,13	0,1602
XHVZ-RHVZ 12/20KV 1X95 AL CIRC.C H-16 R SE	0,32	0,11	0,2202

Tabla 14. Características eléctricas de los cables instalados por Iberdrola

1.5.4. Conclusiones.

Como se ha estudiado en apartados anteriores, muchas cargas eléctricas incorporan elementos que pueden imponer un factor de potencia capacitivo sobre la fuente de energía. Si bien estas cargas no son en general un problema para las fuentes de energía de la red pública, sí que puede causar fallos en los grupos electrógenos.

Una fuente de energía pública simplemente absorbe la salida de potencia reactiva porque es extremadamente grande con relación a la potencia capacitiva a consumir y tiene muchas cargas que pueden contrarrestar esta energía. Con un grupo eléctrico, sin embargo, el aumento de potencia reactiva capacitiva en servicio causa un aumento

de la tensión provocando que el regulador de voltaje regule hacia abajo y reduzca la fuerza del campo del alternador. Si el AVR baja del todo, pierde el control del voltaje del sistema, lo que puede resultar en aumentos repentinos en el voltaje del sistema y grandes oscilaciones de la corriente.

Para evitar daños en las cargas, el panel de control del grupo electrógeno tiene un parámetro configurable de sobretensión o de baja excitación, el cual tiene programado que dispare la protección cuando se sobrepasen dichos límites.

El fabricante nos proporciona la curva de capacidad teorica del grupo electrógeno donde se observa la cantidad de potencia reactiva que es capaz de soportar antes de que falle el control de voltaje.

Otro parámetro a tener en cuenta es la corriente de Inrush, al igual que el pico de corriente que se produce al alimentar cargas capacitivas. Ambos pueden provocar el disparo de la protección del grupo electrógeno.

No se sabe con certeza cual de todas las causas posibles es la que hace disparar el grupo electrógeno, por ello en el siguiente apartado se procederá a identificar las posibles causas de disparo de la protección del grupo electrógeno mediante un ensayo experimental.

1.6. IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

1.6.1. Introducción

Una vez se han estudiado las posibles causas que pueden hacer disparar las protecciones del grupo electrógeno se procede a reproducir las situaciones que pueden hacer disparar las protecciones mediante un ensayo experimental en condiciones reales.

Con los datos del ensayo, se construye un modelo de simulación que simulará las condiciones del ensayo experimental y con el que se podrán simular situaciones

extremas y posibles soluciones con las que evitar los disparos de las protecciones del grupo electrógeno.

1.6.2. Ensayo experimental

1.6.2.1. Descripción general

Para observar el comportamiento del grupo electrógeno frente a cargas capacitivas se procede a realizar un ensayo experimental en condiciones reales.

Se aislará de la red una zona en la que se conectará un grupo electrógeno a un centro de transformación por la parte de baja tensión alimentando en media tensión a múltiples centros de transformación.

Se pretende que la potencia capacitiva generada en los cables subterráneos de media tensión sea suficiente como para hacer disparar las protecciones del grupo electrógeno.

1.6.2.2. Análisis del generador síncrono

Para realizar el ensayo, la empresa ElectroGrup nos cede un grupo electrógeno nuevo de 1000 kVA de la marca Atlas Copco, modelo QAC 1000 Dd con alternador Leroy Somer, referencia LS: LSA491L11 ATLAS COPCO. Este grupo nunca ha disparado al alimentar cargas capacitivas, pero tanto a Iberdrola como a ElectroGrup, a pesar que el fabricante proporcione el diagrama P-Q del generador, les interesa saber la potencia reactiva capacitiva que es capaz de consumir en condiciones reales sin que salte su protección, ya que será el grupo que más utilice Iberdrola.

Los datos del grupo electrógeno se han obtenido del manual de instrucciones QAC 1000 Dd, referencia bibliográfica [5].

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO



Ilustración 1. Grupo electrógeno ATLAS COPCO 1000 kVA

Sus características técnicas más importantes son:

- Frecuencia nominal: 50 Hz
- Velocidad nominal 1500 rpm
- Potencia activa nominal: 800 kW
- Factor de potencia nominal: 0,8
- Potencia aparente nominal: 1000 kVA
- Voltaje nominal de línea: 400 V
- Corriente nominal: 1443 A

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

El diagrama P-Q del generador es el siguiente:

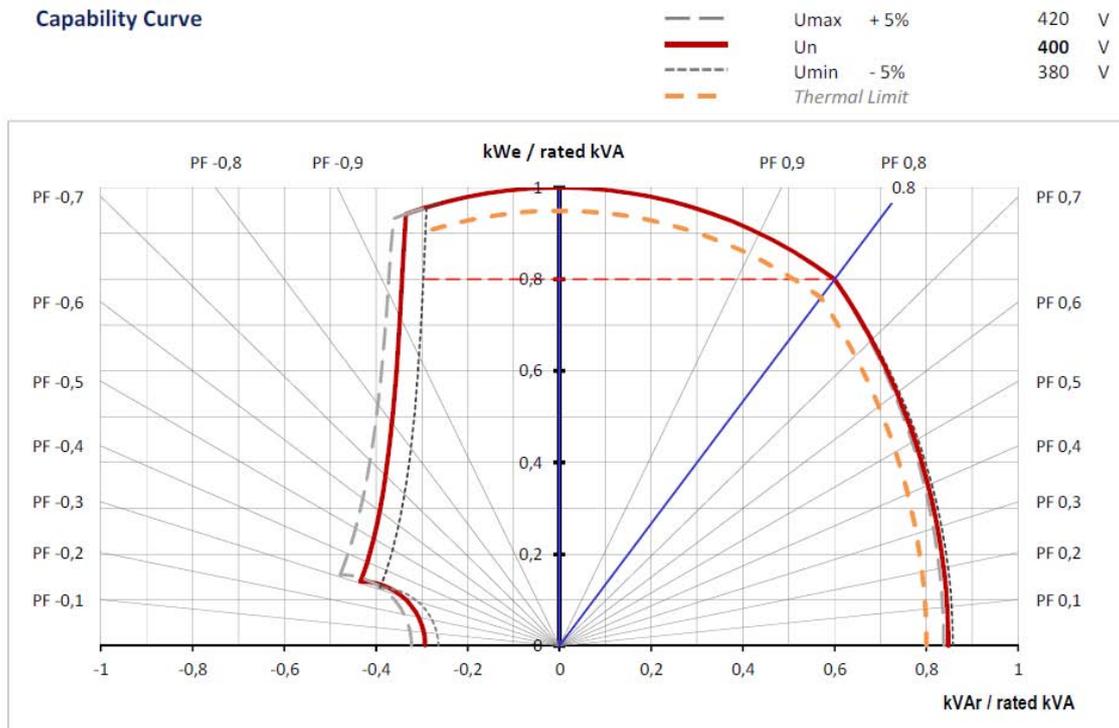


Figura 56. Diagrama P-Q del generador del ensayo

De la curva se observan los límites de potencia reactiva teóricos que provocarían una inestabilidad en el grupo. El límite de potencia reactiva inductiva no nos interesa ya que no pretendemos llevar al grupo a esa región por lo que nunca se alcanzará dicho límite. El límite que se pretende alcanzar es el de potencia reactiva capacitiva el cual se mantiene prácticamente constante en 350 kVAr para cualquier valor de potencia activa.

Si se consigue superar dicha potencia, como se ha analizado en el apartado 1.5.1.5. *Diagrama P-Q del alternador*, se conseguirá que el generador pierda el control del AVR por lo que se conseguirá que dispare la protección por sobretensión.

El grupo electrógeno cuenta con un panel de control modelo Qc4001 que se ha analizado en el apartado 1.5.1.3.3. *Módulo de control*. En él se han estudiado las alarmas de protección con las que cuenta el grupo electrógeno y que nos serán de utilidad conocerlas para poder ver el motivo del disparo.

1.6.2.3. Selección del emplazamiento

Durante el ensayo se van a realizar conexiones y desconexiones del grupo electrógeno, quedándose sin servicio los centros de transformación que se van a alimentar desde el grupo, por lo que a la hora de elegir un emplazamiento se busca una zona en la que no haya clientes a los que poder perjudicar y que tenga largas tiradas de cable subterráneo de MT instalado.

Se analizan todas las zonas de Castellón siendo la más idónea la urbanización Belcaire Norte de Moncofar, la cual solo cuenta con dos contratos de potencia, uno de alumbrado público el cual no funciona por el hurto del cable subterráneo de baja tensión, y uno de un cliente de 3,3 kW contratados.

Para dicho cliente se contratará un pequeño grupo electrógeno que le abastecerá de electricidad durante el ensayo.



Ilustración 2. Grupo electrógeno instalado de apoyo

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

Al no tener clientes conectados a los centros de transformación que se van a alimentar con grupo electrógeno, la única potencia que habrá en servicio será la generada por los cables subterráneos de media tensión.

El inconveniente de esto es que a penas habrá potencia en el sistema, lo que hará que no circule una corriente lo suficientemente elevada como para que dispare las protecciones por el transitorio de corriente producido a la hora de alimentar la carga capacitiva del cable subterráneo, o por la corriente de inrush.

La ventaja es que prácticamente toda la carga del sistema será capacitiva lo que provocará que en una situación real con clientes nunca llegue a ser tan desfavorable, ya que, por pocos que sean, siempre hay elementos inductivos en cualquier vivienda.

1.6.2.4. Calculo de la potencia capacitiva de las líneas

Una vez se tiene el posible emplazamiento, se calcula la potencia reactiva teórica que generan los cables y se comprueba que alcance el valor del límite de potencia reactiva que es capaz de soportar el generador síncrono del grupo electrógeno.

En el esquema eléctrico del sistema, Plano 03 Esquema Unifilar del Ensayo, se observan las líneas que se van a energizar con el grupo electrógeno.

Para el cálculo de la potencia reactiva solo se ha tenido en cuenta el valor de la capacitancia del cable ya que el valor de la reactancia inductiva, para cables subterráneos, es prácticamente despreciable en comparación con el efecto de la capacitancia.

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

Línea subterránea de media tensión (MT) que une el centro de transformación BN CT-7 con el centro de transformación BN CR-2

- Longitud: 411 m
- Tipo de cable: Cable HEPRZ1 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE
- Capacitancia: 0,4522 $\mu\text{F}/\text{km}$

$$Q_c = 3 \cdot \frac{V_s^2}{X_c} = 3 \cdot \frac{V_s^2}{\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C \cdot L}} = 3 \cdot \frac{\left(\frac{20000}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,4522 \cdot 10^{-6} \cdot 0,411}} = 23355 \text{ Var} = 23,35 \text{ kVar}$$

Línea subterránea de media tensión (MT) que une el centro de transformación BN CT-7 con el centro de transformación BN CT-3

- Longitud: 232 m
- Tipo de cable: Cable HEPRZ1 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE
- Capacitancia: 0,4522 $\mu\text{F}/\text{km}$

$$Q_c = 3 \cdot \frac{V_s^2}{X_c} = 3 \cdot \frac{V_s^2}{\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C \cdot L}} = 3 \cdot \frac{\left(\frac{20000}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,4522 \cdot 10^{-6} \cdot 0,232}} = 13183 \text{ Var} = 13,183 \text{ kVar}$$

Línea subterránea de media tensión (MT) que une el centro de transformación BN CR-2 con el centro de transformación CMS CNO CHILCHES

- Longitud: 1827 m
- Tipo de cable: Cable HEPRZ1 12/20 KV 1X400 AL CIRC.C H-16 R SE
- Capacitancia: 0,5351 $\mu\text{F}/\text{km}$

$$Q_c = 3 \cdot \frac{V_s^2}{X_c} = 3 \cdot \frac{V_s^2}{\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C \cdot L}} = 3 \cdot \frac{\left(\frac{20000}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,5351 \cdot 10^{-6} \cdot 1,827}} = 122852 \text{ Var} = 122,852 \text{ kVar}$$

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

Línea subterránea de media tensión (MT) que une el centro de transformación BN CR-2 con el centro de transformación BN CT-11

- Longitud: 276 m
- Tipo de cable: Cable HEPRZ1 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE
- Capacitancia: 0,4522 $\mu\text{F}/\text{km}$

$$Q_c = 3 \cdot \frac{V_s^2}{X_c} = 3 \cdot \frac{V_s^2}{\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C \cdot L}} = 3 \cdot \frac{\left(\frac{20000}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,4522 \cdot 10^{-6} \cdot 0,276}} = 15683 \text{ Var} = 15,683 \text{ kVar}$$

Línea subterránea de media tensión (MT) que une el centro de transformación BN CR-2 con el centro de transformación BN CT-16

- Longitud: 185 m
- Tipo de cable: Cable HEPRZ1 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE
- Capacitancia: 0,4522 $\mu\text{F}/\text{km}$

$$Q_c = 3 \cdot \frac{V_s^2}{X_c} = 3 \cdot \frac{V_s^2}{\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C \cdot L}} = 3 \cdot \frac{\left(\frac{20000}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,4522 \cdot 10^{-6} \cdot 0,185}} = 10512 \text{ Var} = 10,512 \text{ kVar}$$

Línea subterránea de media tensión (MT) que une el centro de transformación BN CT-2 con el centro de transformación PALAFANGUES CT5

- Longitud: 266 m
- Tipo de cable: Cable HEPRZ1 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE
- Capacitancia: 0,4522 $\mu\text{F}/\text{km}$

$$Q_c = 3 \cdot \frac{V_s^2}{X_c} = 3 \cdot \frac{V_s^2}{\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C \cdot L}} = 3 \cdot \frac{\left(\frac{20000}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,4522 \cdot 10^{-6} \cdot 0,266}} = 15115 \text{ Var} = 15,115 \text{ kVar}$$

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

Línea subterránea de media tensión (MT) que une el centro de transformación BN CT-2 con el centro de transformación BN CT-4

- Longitud: 428 m
- Tipo de cable: Cable HEPRZ1 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE
- Capacitancia: 0,4522 μ F/km

$$Q_c = 3 \cdot \frac{V_s^2}{X_c} = 3 \cdot \frac{V_s^2}{\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C \cdot L}} = 3 \cdot \frac{\left(\frac{20000}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,4522 \cdot 10^{-6} \cdot 0,428}} = 24321 \text{ Var} = 24,321 \text{ kVar}$$

Línea subterránea de media tensión (MT) que une el centro de transformación BN CT-5 con el centro de transformación BN CR-2

- Longitud: 561 m
- Tipo de cable: Cable HEPRZ1 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE
- Capacitancia: 0,4522 μ F/km

$$Q_c = 3 \cdot \frac{V_s^2}{X_c} = 3 \cdot \frac{V_s^2}{\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C \cdot L}} = 3 \cdot \frac{\left(\frac{20000}{\sqrt{3}}\right)^2}{\frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,4522 \cdot 10^{-6} \cdot 0,561}} = 31878 \text{ Var} = 31,878 \text{ kVar}$$

La potencia que generaran la totalidad de las líneas es la suma de la potencia que genera cada una de las líneas siendo **256,894 kVar**.

Dicha zona no reúne la potencia reactiva capacitiva teórica capaz de inestabilizar al generador pero es una potencia suficientemente elevada como para ser considerada ya que en condiciones reales con clientes nunca se llegará a alimentar tantas líneas con un grupo electrógeno.

Por lo que el ensayo se realizará en la urbanización Belcaire Norte, Moncofa.

1.6.2.5. Procedimiento del ensayo

Para realizar el ensayo lo primero que hay que hacer es aislar de la red la zona en la que se van a realizar las pruebas. Para ello, se abren los siguientes interruptores llamados puntos de aislamiento:

- Interruptor del enlace de barras de BN CR-2.
- Interruptor de línea de BN CR-2 salida a BN CT-5.
- Interruptor de transformador de 630 kVA en centro de transformación BN CT-3.
- Interruptor de transformador de 250 kVA en centro de transformación BN CT-4.
- Interruptor de línea de CMS CON CHILCHES salida a BN CR-2.
- Interruptor de línea de CT-5 PALAFANGUES salida a BN CR-2.
- Interruptor de línea de BN CT-11 salida a BN CR-2.
- Interruptor de línea de BN CT-16 salida a BN CR-2.

Los interruptores de conexión de los transformadores de los centros de transformación BN CT-3 y BN CT-4 se abren porque son los que pertenecen a los dos clientes que hay conectados (cliente de 3,3 kW y alumbrado público)

Para ir conectando líneas eléctricas a tramos se necesita antes de realizar el ensayo abrir los siguientes interruptores:

- Interruptor de transformador de 630 kVA en centro de transformación BN CT-7.
- Interruptor de línea de BN CT-7 salida a BN CR-2.
- Interruptor de línea de BN CT-7 salida a BN CT-3.
- Interruptor de línea de BN CR-2 salida a CMS CON CHILCHES.
- Interruptor de línea de BN CR-2 salida a BN CT-11.
- Interruptor de línea de BN CR-2 salida a BN CT-16.
- Interruptor de línea de BN CT-2 salida a BN CT-4.
- Interruptor de línea de BN CT-7 salida a CT-5 PALAFANGUES.
- Interruptor de línea de BN CT-5 salida a BN CR-2.

Una vez quedan abiertos los interruptores mencionados se van cerrando siguiendo un orden en el que se prioriza energizar el cable de 1827m lo mas pronto posible ya que si

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

se deja para el último escalón puede producir el disparo de la protección del grupo electrógeno sin poder afinar el límite de potencia capacitiva que es capaz de generar el grupo electrógeno. Por ello se energiza al principio siguiendo de escalones de líneas cortos.

El orden es el siguiente:

- Interruptor de transformador de 630 kVA en centro de transformación BN CT-7.
- Interruptor de línea de BN CT-7 salida a BN CR-2.
- Interruptor de línea de BN CT-7 salida a BN CT-3.
- Interruptor de línea de BN CR-2 salida a CMS CON CHILCHES.
- Interruptor de línea de BN CR-2 salida a BN CT-11.
- Interruptor de línea de BN CR-2 salida a BN CT-16.
- Interruptor de línea de BN CT-7 salida a CT-5 PALAFANGUES.
- Interruptor de línea de BN CT-2 salida a BN CT-4.
- Interruptor de línea de BN CT-5 salida a BN CR-2.

La brigada de Iberdrola será la encargada de realizar las maniobras, para ello se les facilita dos tablas con las maniobras resumidas a realizar:

POSICIONES INICIALES		
Numero	Maniobra	Pto Aislamiento
1	Abrir en BN CT-7 trafo 630 kVA	-
2	Abrir en BN CT-7 salida a BN CR-2	-
3	Abrir en BN CT-7 salida a BN CT-3	-
4	Abrir en BN CR-2 Enlace Barras Particion	A1
5	Abrir en BN CR-2 salida a BN CT-5	A2
6	Abrir en BN CR-2 salida a CHILCHES	-
7	Abrir en BN CR-2 salida a BN CT-11	-
8	Abrir en BN CR-2 salida a BN CT-16	-
9	Abrir en BN CT-3 trafo 630 kVA	A7
10	Abrir en BN CT-2 salida a BN CT-4	-
11	Abrir en BN CT-2 salida a PALAFANGUES	-
12	Abrir en BN CT-4 trafo 250 kVA	A8
13	Abrir en BN CT-5 salida a BN CR-2	-
14	Abrir en CMS CON CHILCHES salida a BN CR-2	A6
15	Abrir en PALAFANGUES CT-5 salida a BN CR-2	A5
16	Abrir en BN CT-11 salida a BN CR-2	A4
17	Abrir en BN CT-16 salida a BN CR-2	A3

Tabla 15. Maniobras de preparación del ensayo

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

ENSAYO				
Numero	Maniobra	Longitud (m)	Qc (kVAr)	Hora
1	Energizar trafo BN CT-7 630 kVA	-	-	
2	Cerrar en BN CT-7 salida a BN CR-2	411	23,35	
3	Cerrar en BN CT-7 salida a BN CT-3	232	13,19	
4	Cerrar en BN CR-2 salida a CHILCHES	1827	122,85	
5	Cerrar en BN CR-2 salida a BN CT-11	276	15,69	
6	Cerrar en BN CR-2 salida a BN CT-16	185	10,51	
7	Cerrar en BN CT-2 salida a PALAFANGUES	266	15,2	
8	Cerrar en BN CT-2 salida a BN CT-4	428	24,32	
9	Cerrar en BN CT-5 salida a BN CR-2	561	31,88	

Tabla 16. Maniobras del ensayo

Qc : Potencia reactiva capacitiva teórica que genera cada línea subterránea.

1.6.2.6. Procedimiento petición del ensayo

Una vez planificado el ensayo se le comunica al Centro de Operaciones de Distribución (COD) las maniobras a realizar, y los puntos de aislamiento del circuito en el que se van a realizar las maniobras. El COD se encarga de gestionar las redes que llevan la electricidad a los hogares e industrias y son los que tienen que verificar que las maniobras a realizar en el ensayo no van a alterar el funcionamiento de la red eléctrica.

Una vez se tiene la verificación del COD ya se pueden realizar las maniobras.

El día del ensayo las maniobras de apertura de los interruptores llamados puntos de aislamiento deben estar guiados por el COD, pero una vez se tenga la zona de trabajo aislada de la red, las maniobras a realizar dentro de la zona de trabajo quedan a responsabilidad nuestra debiendo anotar bien las maniobras que se realicen dentro.

1.6.2.7. Descripción del ensayo

El día del ensayo hubo una avería en una subestación que tuvo que organizar el COD, con lo que costó 3 horas en contactar con ellos para poder empezar con las maniobras de aislamiento de la zona del ensayo. Además del retraso que produjo el contactar con

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

ellos, cuando se fue a abrir el interruptor de maniobra del transformador del centro de transformación BN CT-7, nos dimos cuenta de que estaba averiado, siendo imposible su manipulación. Por lo que para poder conectar el grupo electrógeno al transformador se decidió anular el interruptor, conectando el grupo al transformador directamente como se observa en la siguiente imagen.



Ilustración 3. Conexión grupo electrógeno - Transformador

Otro inconveniente que se tuvo antes de realizar el ensayo fue a la hora de instalar el analizador de redes HIOKI 3196 suministrado por Iberdrola. Nos dimos cuenta que la fuente de alimentación de las pinzas amperimétricas estaba averiada por lo que no se pudo instalar.

Finalmente se instaló un analizador de redes suministrado por ElectroGrup,

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO



Ilustración 4. Conexión analizador de redes

Una vez se realizaron las maniobras de aislamiento de la zona de ensayo y se cableó el analizador de redes se procedió a ejecutar las maniobras planificadas.

La maniobra 1 no se pudo realizar ya que el grupo electrógeno se conectó directamente al transformador por la avería en el interruptor de maniobra del transformador.

Se decidió comenzar por la maniobra 3 debido al retraso que se llevaba en el ensayo.

ENSAYO				
Numero	Maniobra	Longitud (m)	Qc (kVAr)	Hora
1	Energizar trafo BN CT-7 630 kVA	-	-	-
2	Cerrar en BN CT-7 salida a BN CR-2	411	23,35	-
3	Cerrar en BN CT-7 salida a BN CT-3	232	13,19	13:34
4	Cerrar en BN CR-2 salida a CHILCHES	1827	122,85	13:40
5	Cerrar en BN CR-2 salida a BN CT-11	276	15,69	13:41
6	Cerrar en BN CR-2 salida a BN CT-16	185	10,51	13:42
7	Cerrar en BN CT-2 salida a PALAFANGUES	266	15,2	13:52
8	Cerrar en BN CT-2 salida a BN CT-4	428	24,32	13:53
9	Cerrar en BN CT-5 salida a BN CR-2	561	31,88	-

Tabla 17. Maniobras realizadas en el ensayo

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

Se fueron realizando las maniobras anotando la hora en la que se realizaban. Cuando se conectó la línea de 1827 metros, maniobra 4, se escuchó como se aceleraba un motor en el grupo electrógeno. El técnico de la empresa ElectroGrup me comentó que lo que se escuchaba era el generador síncrono que actúa como excitatriz del generador principal.

Cuando se llegó a la maniobra 8 el grupo electrógeno disparó. El módulo de control del grupo electrógeno mostró la alarma 1260 la cual dispara cuando la frecuencia del grupo electrógeno sobrepasa el 120% la frecuencia nominal durante 1 segundo. En nuestro caso 60 Hz durante 1 segundo.

El grupo funcionó bien hasta la maniobra 7, lo que es decir, con una potencia reactiva capacitiva teórica de 200,79 kVAr. Al meter la maniobra 8 aumentamos 24,32 kVAr y el grupo disparó.

Para afinar con el límite de potencia capacitiva que hace disparar las protecciones del grupo electrógeno, se abrió el interruptor de la maniobra 8 y se energizó el grupo electrógeno. En dicho instante el grupo electrógeno funcionaba con una potencia capacitiva de 200,79 kVAr. A continuación se abrió el interruptor de la maniobra 7 y se cerró el interruptor de la maniobra 8 para observar si dispararía con una potencia de 209,91 kVAr. Al ver que el grupo electrógeno no disparó se decidió cerrar el interruptor de la maniobra 7 sin conseguir el disparo. Se estaba consumiendo una potencia capacitiva de 225,11 kVAr, la misma potencia que había hecho disparar el grupo electrógeno anteriormente. Con esto, se decidió alimentar la última línea, se cerró el interruptor de la maniobra 9, consiguiendo una potencia total teórica de 256,99 kVAr, sin hacer disparar las protecciones.

En la siguiente imagen se observa la potencia capacitiva real que registro el módulo de control del grupo electrógeno.



Ilustración 5. Potencia capacitiva registrada por el módulo de control

La potencia real registrada es menor que la calculada teóricamente debido a que los transformadores de los centros de transformación tienen pérdidas de potencia reactiva inductiva, las cuales contrarrestan a la potencia capacitiva que generan las líneas subterráneas. Además, aunque se considere despreciable la potencia inductiva que genera un cable subterráneo en comparación a la potencia capacitiva, hay que decir que dicha inductancia compensa la potencia capacitiva calculada, por lo que será algo menor.

No se pudieron realizar más pruebas debido a la insistencia del COD por finalizar el ensayo provocado por el retraso. La brigada de Iberdrola aun tenía que dejar los interruptores de maniobra de los centros de transformación tal y como se encontraban al inicio del ensayo.

No se consiguió disparar las protecciones del grupo electrógeno por las posibles causas analizadas teóricamente. Al no tener contratos de potencia conectados a los centros de transformación del ensayo, la única potencia que había en el sistema era la producida por los cables subterráneos de media tensión, lo que hizo que la corriente suministrada por el grupo electrógeno fuera demasiado baja como para hacer disparar las protecciones por los picos producidos. También era de esperar que no disparara por sobretensión o por baja excitación ya que no se ha conseguido una potencia capacitiva

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

capaz de desestabilizar el grupo electrógeno como se ha visto en el apartado 5.2.2. *Análisis del generador síncrono* en el que se ha analizado el generador síncrono empleado en el ensayo.

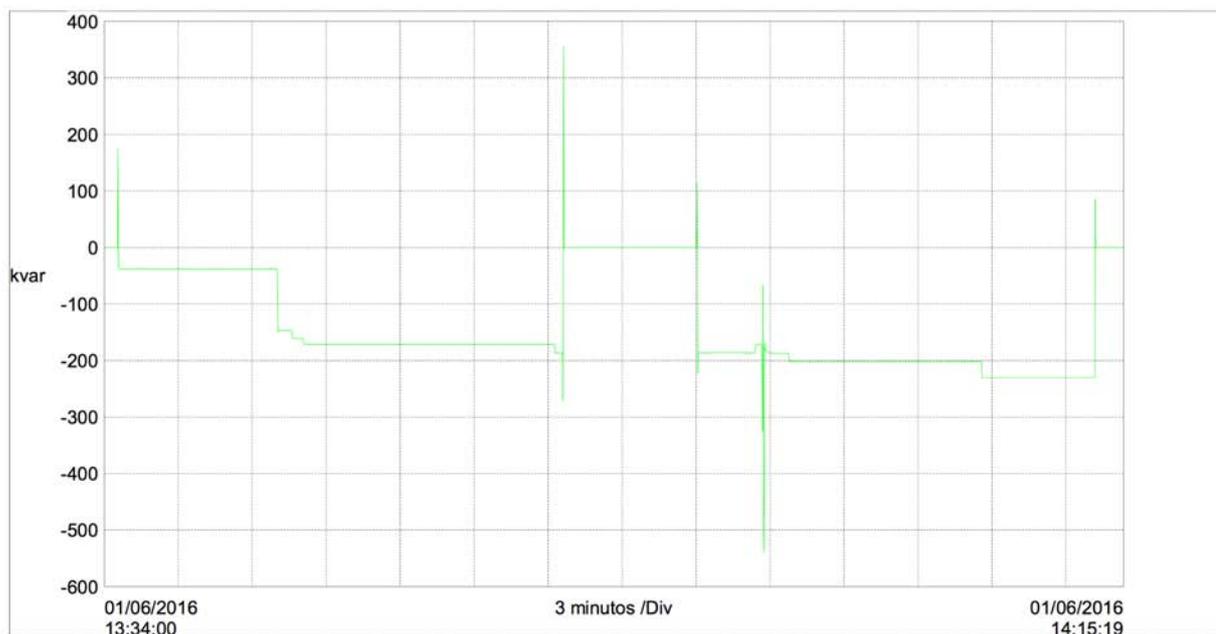
Pese a esto, tanto Iberdrola como ElectroGrup quedaron satisfechos del ensayo ya que el grupo electrógeno alcanzó una potencia capacitiva nunca conseguida.

En el siguiente apartado se analizarán los datos obtenidos en el ensayo y se dará una explicación al disparo producido por sobrefrecuencia.

1.6.2.8. Resultados

En este apartado se va a analizar el ensayo mediante los datos registrados por el analizador de redes.

En primer lugar se va a comprobar que la potencia capacitiva teórica concuerda con la potencia generada durante el ensayo.



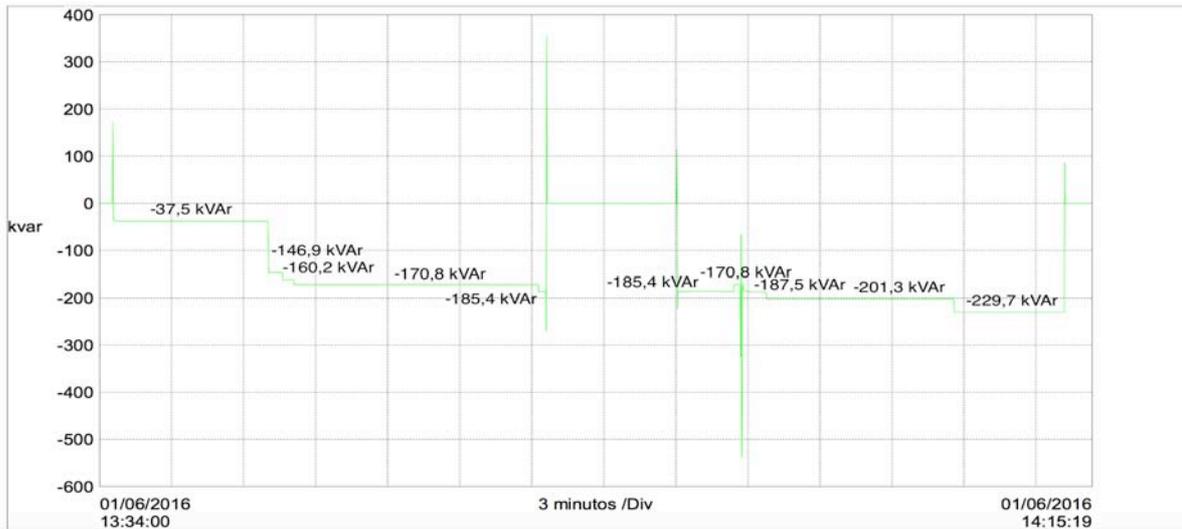
Gráfica 1. Potencia capacitiva registrada en el ensayo

Como se observa, a las 13:53, se produce el disparo del grupo.

El analizador de redes calcula la potencia mediante expresiones matemáticas, en función de la corriente, y tensión medida, así como del desfase entre ambas magnitudes. Por

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

esto, en la gráfica de potencia reactiva se observan picos producidos por transitorios de corriente que más adelante se analizarán.



Gráfica 2. Potencia capacitiva registrada en el ensayo con los valores de cada escalón

En la gráfica se observan claramente escalones producidos al ir conectando líneas de cables subterráneos de media tensión.

Escalón	Potencia real (kVAr)	Potencia teórica (kVAr)
1	-37,5	-36,54
2	-146,9	-159,39
3	-160,2	-175,08
4	-170,8	-185,59
5	-185,4	-200,79
6	0	0
7	-185,4	-200,79
8	-170,8	-185,59
9	-187,5	-209,91
10	-201,3	-225,11
11	-229,7	-256,99

Tabla 18. Potencia real – Potencia teórica

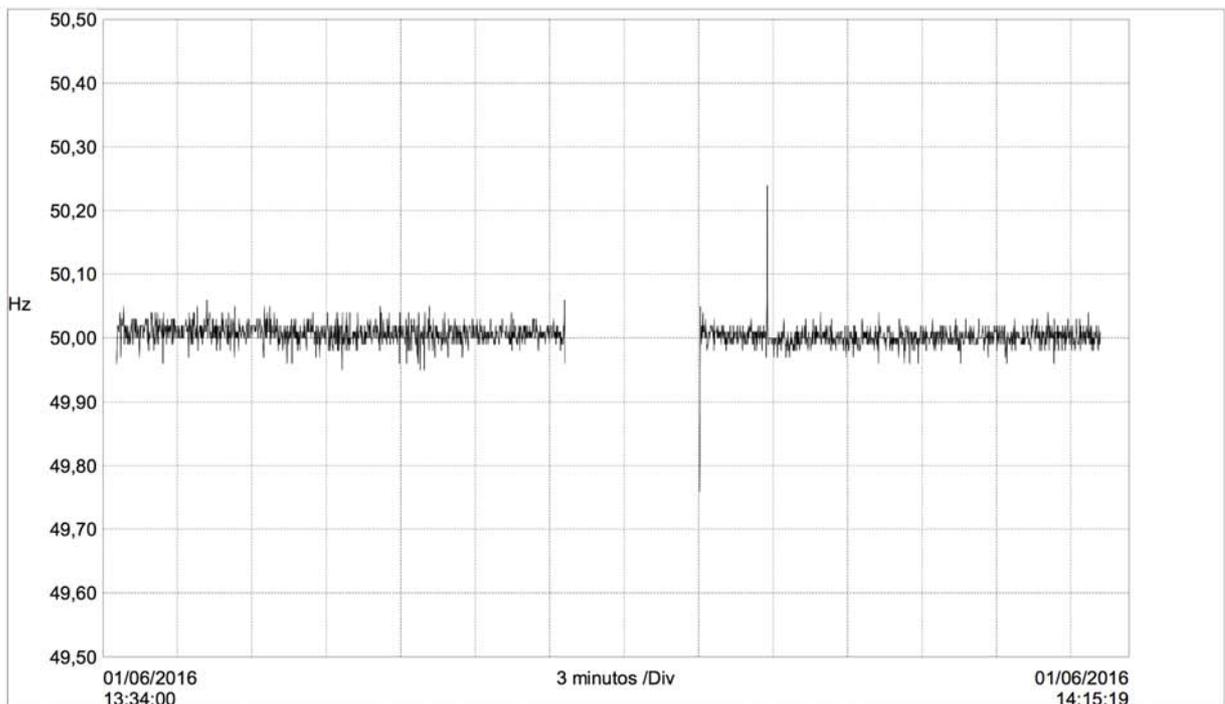
IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

Se observa como a medida que se van alimentando más centros de transformación, la potencia teórica dista más de la real. Esto es debido a que los transformadores de los centros de transformación consumen potencia reactiva, lo que compensa la potencia capacitiva que generan las líneas subterráneas.

Por lo tanto, se puede verificar que los datos de capacitancia suministrados por los fabricantes de los cables subterráneos son correctos.

Además, se observa cómo no se ha alcanzado el límite de potencia reactiva capacitiva capaz de desestabilizar el grupo electrógeno como se ha visto en el apartado 1.6.2.2. *Análisis del generador síncrono*, en el que se ha analizado el generador síncrono empleado en el ensayo.

En la gráfica siguiente se observan los valores de frecuencia que alcanzó el generador síncrono.

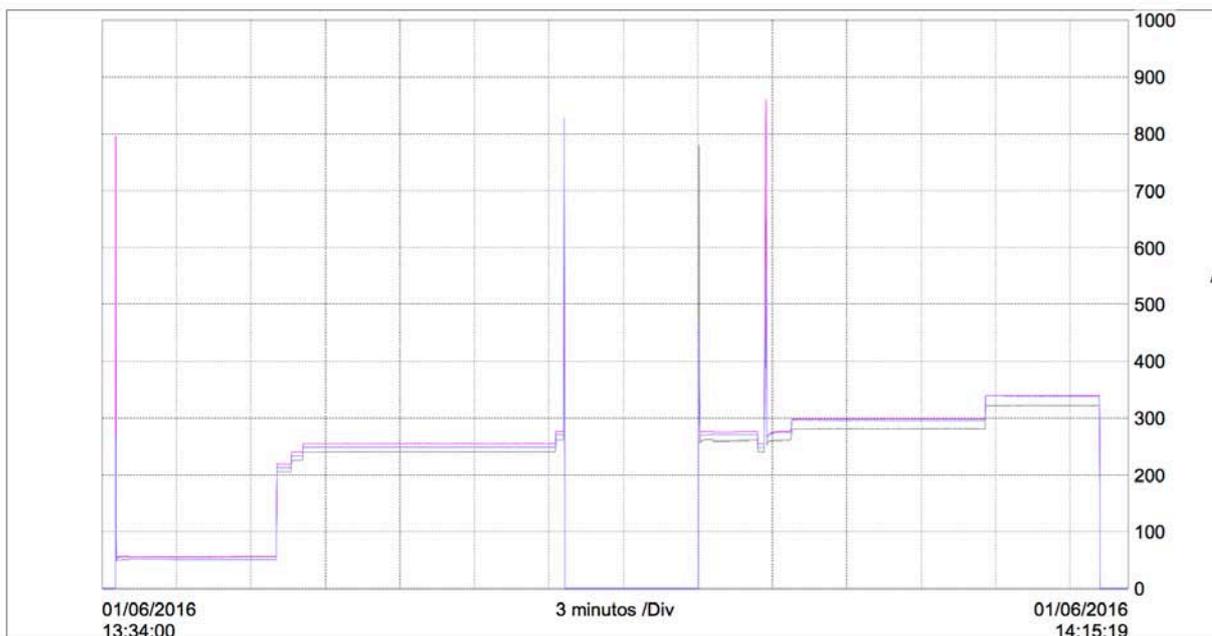


Gráfica 3. Frecuencia registrada en el ensayo

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

En ningún momento se alcanzó la frecuencia de 60 Hz siendo la máxima 50,24 Hz, por lo que la parada del grupo electrógeno debió ser motivada por un posible fallo del módulo de control del grupo electrógeno.

En la gráfica siguiente se muestra la corriente obtenida en las tres fases durante el ensayo.



Gráfica 4. Corriente registrada en el ensayo

Se observa como en cada conexión del generador síncrono se genera un transitorio de corriente de elevada amplitud llegando a los 800 A por el hecho de pasar de una condición de estado estable a una con carga.

Al disparar el interruptor automático se observa un gran pico provocado por la abertura brusca del interruptor. Esto es debido a que disparó por sobrefrecuencia, alarma que tiene configurado por defecto la acción de parada, como se ha analizado en el apartado *1.5.1.3.3. Módulo de control*.

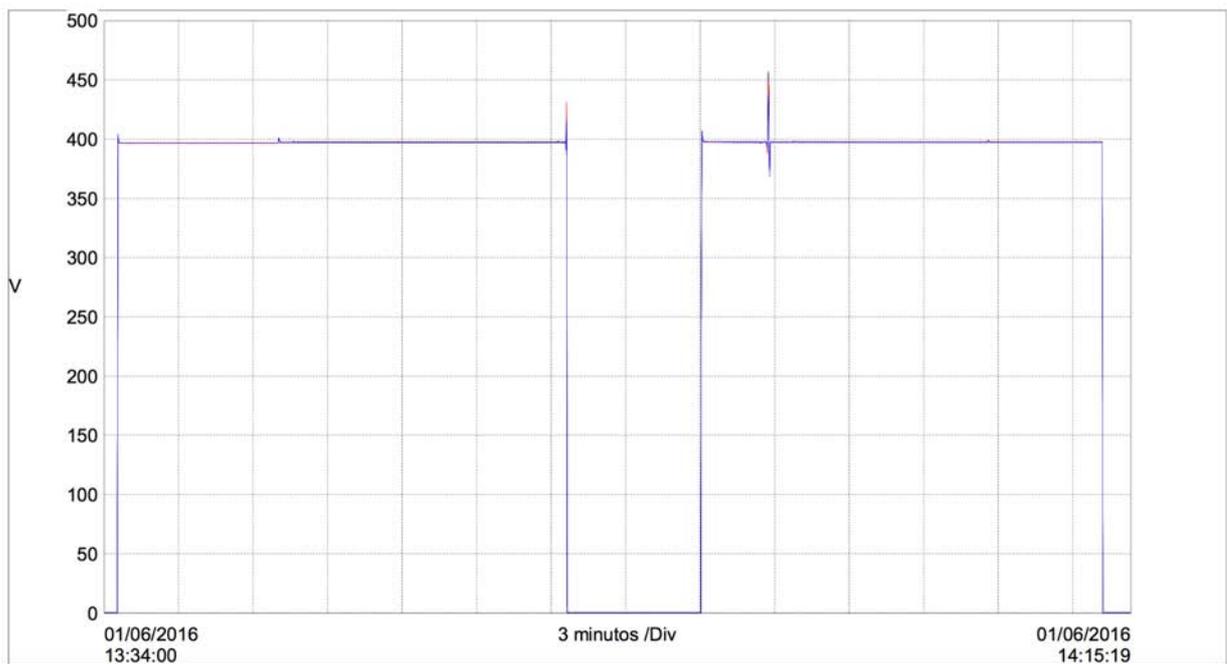
En cambio, cuando acaba el ensayo, se para el grupo electrógeno con el pulsador de parada, sin producir ningún pico de corriente. Esto es debido a que el módulo de control controla la parada del grupo electrógeno evitando picos de corriente.

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

El mayor pico de corriente se produce al abrir en carga un interruptor de maniobra. Esto es producido por el hecho de desconectar una carga en servicio.

Se observa como en ningún momento se alcanza la intensidad nominal del generador (1443 A), por lo que, es normal que el grupo electrógeno no haya disparado por sobrecorriente.

La gráfica siguiente muestra la tensión de fase en bornes del generador.



Gráfica 5. Tensión registrada en el ensayo

Se observa un pequeño pico cada vez que se conecta el grupo electrógeno producido por el cierre del interruptor de maniobra haciendo que el sistema pase de una condición de estado estable a una con carga.

También se observa un pequeño pico en la conexión de la línea de 1827 metros producido por el aumento de tensión que provoca la potencia capacitiva que supone dicho escalón. En cuestión de segundos el control automático de voltaje actúa manteniendo constante la tensión.

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

En la parada intempestiva del grupo electrógeno producida por un fallo en el módulo de control se produce un gran pico provocado por la abertura del interruptor de protección, siendo una parada brusca. Esto provoca que el control de tensión se desconecte, dejando de regular y provocando un pico de tensión de elevada consideración.

En cambio, cuando acaba el ensayo, se para el grupo electrógeno con el pulsador de parada, sin producir ningún pico de tensión. Esto es debido a que el control de tensión controla la parada del grupo electrógeno previniendo de picos de tensión

El mayor pico de tensión se produce al abrir en carga un interruptor de maniobra. Dicha maniobra supuso un aumento repentino de tensión provocando que el control de tensión regulara hacia abajo provocando un decremento de la tensión. Pero en cuestión de pocos segundos la tensión se estabilizó.

Durante todo el ensayo se observa como el control de tensión consiguió mantener la tensión a 400 V. Al no alcanzar el límite de potencia reactiva no se consiguió inestabilizar el control de tensión del grupo electrógeno.

La alarma de sobretensión está configurada por defecto para disparar cuando se sobrepase durante 1 segundo el 120% de la tensión nominal, en nuestro caso 480V durante 1 segundo. En la gráfica se observa como ningún pico de tensión alcanza los 480V.

1.6.3. Modelo de simulación

Debido a que las condiciones del ensayo experimental no han logrado ser suficientes como para hacer disparar las protecciones del grupo electrógeno, se decide realizar una simulación que reproduzca las condiciones del ensayo, para poder reproducir condiciones más desfavorables y probar posibles soluciones.

1.6.3.1. Programa de simulación

Para simular el ensayo se empleará SimpowerSystems. Es una herramienta de MATLAB que trabaja en entorno Simulink, el cual nos permite construir modelos que simulan un Sistema de Potencia Eléctrico.

Simulink se trata de un entorno de diagramas de bloque para la simulación multidominio y el diseño basado en modelos.

Ofrece un editor gráfico, bibliotecas de bloques personalizables y solvers para modelar y simular sistemas dinámicos. Se integra con MATLAB[®], lo que permite incorporar algoritmos de MATLAB en los modelos y exportar los resultados de la simulación a MATLAB para llevar a cabo más análisis.

Consta de un conjunto de bloques predefinidos que se pueden combinar a fin de crear un diagrama de bloques detallado de un sistema. Las herramientas de modelado jerárquico, gestión de datos y personalización de subsistemas permiten representar hasta los sistemas más complejos de forma concisa y precisa.

Para crear un modelo, se arrastran bloques desde Simulink Library Browser hasta el Simulink Editor. A continuación, se conectan estos bloques con líneas de señales para establecer relaciones matemáticas entre los componentes del sistema.

1.6.3.2. Modelo de simulación

El siguiente modelo representa las condiciones del ensayo experimental:

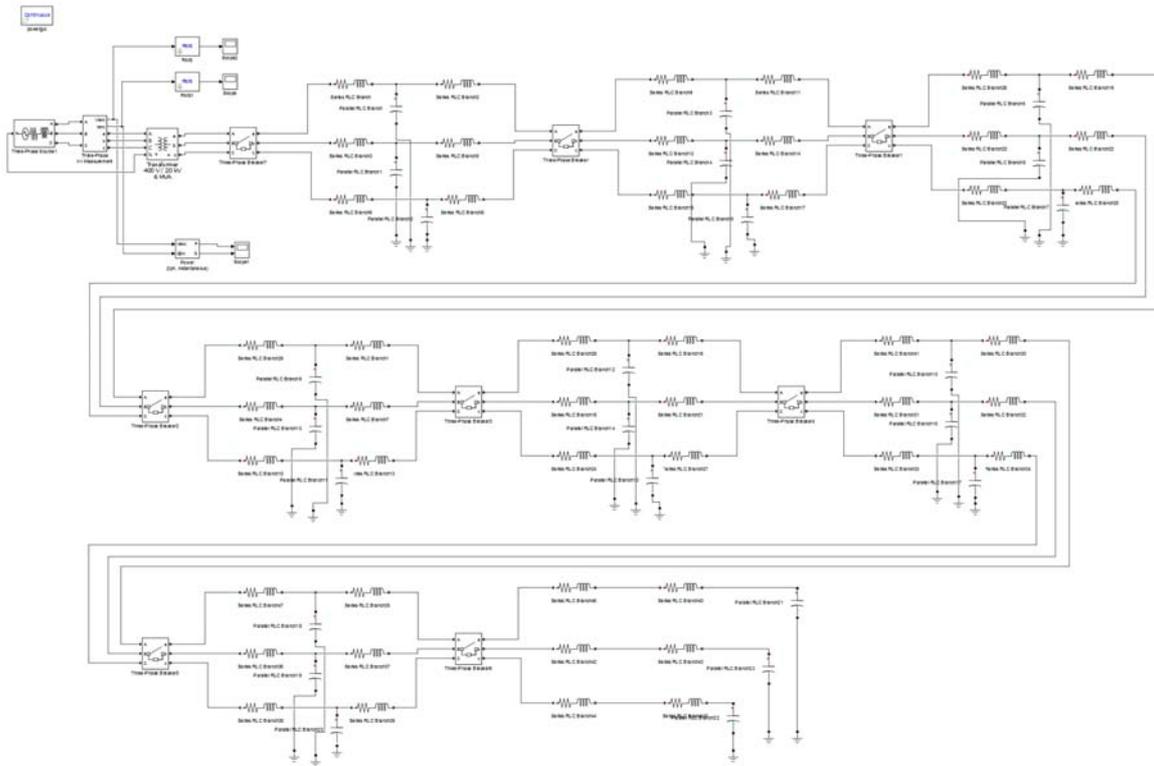


Figura 57. Modelo de simulación de las condiciones del ensayo

Para simular las líneas subterráneas se ha empleado la siguiente estructura:

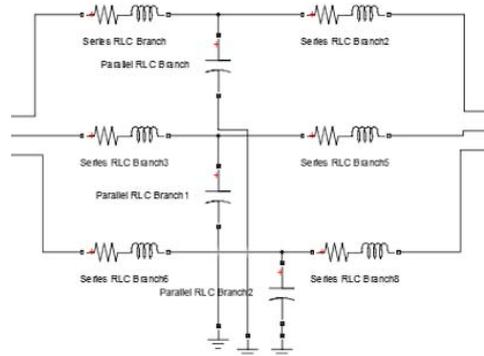


Figura 58. Simulación línea subterránea

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

Es una estructura en la que se divide tanto la resistencia como la inductancia de la línea subterránea colocando un condensador entre ambas mitades. Dicho condensador simula la capacitancia que genera un cable subterráneo. Como se ha visto en el apartado 4.3.2. *Efecto capacitivo de las líneas subterráneas*, un cable subterráneo energizado actúa de la misma manera que un condensador fijo conectado a tierra en cada una de las fases.

Los interruptores se representan por medio del bloque Three-Phase Breaker de la librería de elementos de SimPowerSystems, este bloque permite cerrar o abrir una o todas las fases de un circuito, en un tiempo determinado.

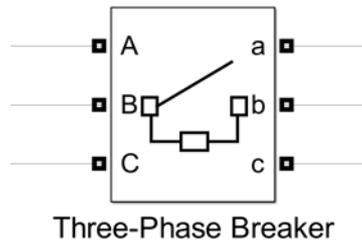


Figura 59. Bloque de SimPowerSystems para la representación del interruptor de conexión.

Mediante dicho elemento se consigue simular el interruptor de conexión. Se ha configurado para simular la conexión de una línea subterránea cada segundo.

Se ha seguido el orden de conexión de las líneas subterráneas del ensayo experimental sin simular el disparo que hubo. El orden simulado es el que se observa en la siguiente tabla.

Numero	Maniobra	Longitud (m)
1	Cerrar en BN CT-7 salida a BN CR-2	411
2	Cerrar en BN CT-7 salida a BN CT-3	232
3	Cerrar en BN CR-2 salida a CHILCHES	1827
4	Cerrar en BN CR-2 salida a BN CT-11	276
5	Cerrar en BN CR-2 salida a BN CT-16	185
6	Cerrar en BN CT-2 salida a PALAFANGUES	266
7	Cerrar en BN CT-2 salida a BN CT-4	428
8	Cerrar en BN CT-5 salida a BN CR-2	561

Tabla 19. Orden de conexión de las líneas subterráneas

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

Para el desarrollo de la simulación se ha utilizado el transformador trifásico de dos devanados.

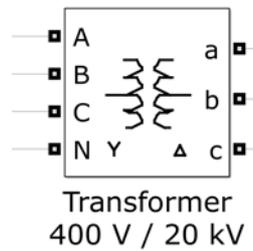


Figura 60. Bloque de SimPowerSystems para la representación de transformadores trifásicos de dos devanados

Para la correcta simulación se ha indicado la potencia nominal (630 kVA), la frecuencia nominal (50 Hz), parámetros de los devanados y conexión de los devanados, siendo en estrella con neutro la conexión del primario y en triángulo la del secundario.

Para simular el grupo electrógeno se emplea una fuente de alimentación con neutro.

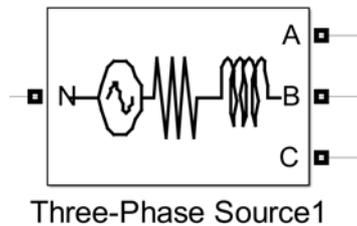


Figura 61. Bloque de SimPowerSystems para la representación de la fuente de alimentación

Mediante dicha fuente, al no tener un sistema de control de tensión se comprobará si al conectar líneas capacitivas aumenta la tensión de salida.

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

El bloque Powergui es necesario para la simulación de cualquier modelo de Simulink que contiene bloques de SimPowerSystems. Con este bloque se selecciona el tipo de simulación a realizar (fasorial, discreta, o continua). El método de simulación fasorial es recomendado para el estudio de oscilaciones electromagnéticas, en el cual el modelo en variables de estado es reducido, y solo contiene los estados lentos de las máquinas, turbinas y reguladores. Por otra parte los métodos continuos de paso variable son muy útiles para resolver problemas con el modelo en variables de estado completo. Los métodos de paso variable recomendados son el de ode23t o el ode23tb, con un tiempo máximo de un ciclo de la frecuencia fundamental.

Además este bloque permite inicializar las máquinas por medio de la herramienta de flujos de carga, lo cual es útil si no se cuenta con las condiciones iniciales del sistema por simular.



Figura 62. Bloque de SimPowerSystems Powegui

En nuestro caso se ha empleado el método continuo ya que es generalmente más preciso para sistemas de pequeño tamaño.

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

Para medir los resultados se emplea el bloque Three-Phase V-I Measurement, mediante el cual se mide tensión e intensidad trifásica del sistema.

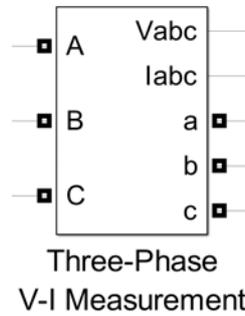


Figura 63. Bloque de SimPowerSystems para la medida de tensión e intensidad de las tres fases

Para poder medir la potencia activa y reactiva del sistema se emplea el bloque Power (3ph, Instantaneous)

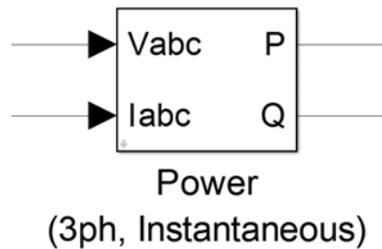


Figura 64. Bloque de SimPowerSystems para la medida de potencia activa y reactiva

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

De la salida de estos bloques de medida se conectan los Scope.

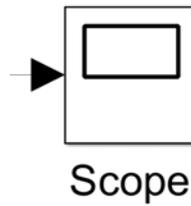


Figura 65. Bloque de SimPowerSystems para la representación de gráficas

El bloque Scope representa gráficamente la entrada conectada a este bloque con respecto al tiempo de simulación. Este bloque permite representar varias variables a la vez para el mismo periodo de tiempo.

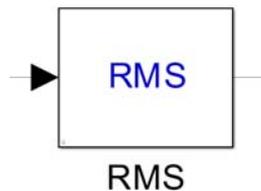


Figura 66. Bloque de SimPowerSystems obtener el valor eficaz de una señal

Mediante este bloque se obtienen los valores eficaces de tensión e intensidad.

1.6.3.3. Validación del modelo

Este modelo presenta un nivel de detalle que se aproxima al funcionamiento real porque permite tomar provecho de las medidas experimentales más relevantes disponibles en las hojas técnicas de los fabricantes de cables. Para ello se ha utilizado la tabla 14 en la que están los valores de resistencia, inductancia y capacitancia de las líneas subterráneas del ensayo.

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

Escalón 1: Línea subterránea de media tensión (MT) que une el centro de transformación BN CT-7 con el centro de transformación BN CR-2

- Longitud: 411 m
- Tipo de cable: Cable HEPRZ1 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE
- Capacitancia: 0,4522 $\mu\text{F}/\text{km}$
- Reactancia: 0,1 Ω/km
- Resistencia: 0,12 Ω/km

Con las características eléctricas de las líneas se calcula los valores del condensador, de la resistencia y de la inductancia que representan una fase de la línea subterránea. Para los valores de resistencia e inductancia se colocará la mitad del valor calculado a cada una de las resistencias e inductancia que representan la línea.

$$C = 0,4522 \cdot 10^{-6} \cdot 0,411 = 1,86 \cdot 10^{-7} \text{ F}$$

$$R = 0,12 \cdot 0,411 = 0,05 \Omega$$

$$X = 2\pi \cdot f \cdot L \rightarrow L = \frac{X}{2\pi \cdot f \cdot l} = \frac{0,1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,411} = 7,74 \cdot 10^{-4} \text{ H}$$

Escalón 2: Línea subterránea de media tensión (MT) que une el centro de transformación BN CT-7 con el centro de transformación BN CT-3

- Longitud: 232 m
- Tipo de cable: Cable HEPRZ1 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE
- Capacitancia: 0,4522 $\mu\text{F}/\text{km}$
- Reactancia: 0,1 Ω/km
- Resistencia: 0,12 Ω/km

$$C = 0,4522 \cdot 10^{-6} \cdot 0,232 = 1,05 \cdot 10^{-7} \text{ F}$$

$$R = 0,12 \cdot 0,232 = 0,028 \Omega$$

$$X = 2\pi \cdot f \cdot L \rightarrow L = \frac{X}{2\pi \cdot f \cdot l} = \frac{0,1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,232} = 1,37 \cdot 10^{-3} \text{ H}$$

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

Escalón 3: Línea subterránea de media tensión (MT) que une el centro de transformación BN CR-2 con el centro de transformación CMS CNO CHILCHES

- Longitud: 1827 m
- Tipo de cable: Cable HEPRZ1 12/20 KV 1X400 AL CIRC.C H-16 R SE
- Capacitancia: 0,5351 $\mu\text{F}/\text{km}$
- Reactancia: 0,09 Ω/km
- Resistencia: 0,07 Ω/km

$$C = 0,5351 \cdot 10^{-6} \cdot 1,827 = 9,77 \cdot 10^{-7} \text{ F}$$

$$R = 0,07 \cdot 1,827 = 0,13 \Omega$$

$$X = 2\pi \cdot f \cdot L \rightarrow L = \frac{X}{2\pi \cdot f \cdot l} = \frac{0,09}{2\pi \cdot 50 \cdot 1,827} = 1,57 \cdot 10^{-4} \text{ H}$$

Escalón 4: Línea subterránea de media tensión (MT) que une el centro de transformación BN CR-2 con el centro de transformación BN CT-11

- Longitud: 276 m
- Tipo de cable: Cable HEPRZ1 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE
- Capacitancia: 0,4522 $\mu\text{F}/\text{km}$
- Reactancia: 0,1 Ω/km
- Resistencia: 0,12 Ω/km

$$C = 0,4522 \cdot 10^{-6} \cdot 0,276 = 1,25 \cdot 10^{-7} \text{ F}$$

$$R = 0,12 \cdot 0,276 = 0,033 \Omega$$

$$X = 2\pi \cdot f \cdot L \rightarrow L = \frac{X}{2\pi \cdot f \cdot l} = \frac{0,1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,276} = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ H}$$

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

Escalón 5: Línea subterránea de media tensión (MT) que une el centro de transformación BN CR-2 con el centro de transformación BN CT-16

- Longitud: 185 m
- Tipo de cable: Cable HEPRZ1 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE
- Capacitancia: 0,4522 $\mu\text{F}/\text{km}$
- Reactancia: 0,1 Ω/km
- Resistencia: 0,12 Ω/km

$$C = 0,4522 \cdot 10^{-6} \cdot 0,185 = 8,37 \cdot 10^{-8} \text{ F}$$

$$R = 0,12 \cdot 0,185 = 0,022 \Omega$$

$$X = 2\pi \cdot f \cdot L \rightarrow L = \frac{X}{2\pi \cdot f \cdot l} = \frac{0,1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,185} = 1,72 \cdot 10^{-3} \text{ H}$$

Escalón 6: Línea subterránea de media tensión (MT) que une el centro de transformación BN CT-2 con el centro de transformación PALAFANGUES CT5

- Longitud: 266 m
- Tipo de cable: Cable HEPRZ1 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE
- Capacitancia: 0,4522 $\mu\text{F}/\text{km}$
- Reactancia: 0,1 Ω/km
- Resistencia: 0,12 Ω/km

$$C = 0,4522 \cdot 10^{-6} \cdot 0,266 = 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ F}$$

$$R = 0,12 \cdot 0,266 = 0,03 \Omega$$

$$X = 2\pi \cdot f \cdot L \rightarrow L = \frac{X}{2\pi \cdot f \cdot l} = \frac{0,1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,266} = 1,19 \cdot 10^{-3} \text{ H}$$

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

Escalón 7: Línea subterránea de media tensión (MT) que une el centro de transformación BN CT-2 con el centro de transformación BN CT-4

- Longitud: 428 m
- Tipo de cable: Cable HEPRZ1 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE
- Capacitancia: 0,4522 $\mu\text{F}/\text{km}$
- Reactancia: 0,1 Ω/km
- Resistencia: 0,12 Ω/km

$$C = 0,4522 \cdot 10^{-6} \cdot 0,428 = 1,94 \cdot 10^{-7} \text{ F}$$

$$R = 0,12 \cdot 0,428 = 0,051 \Omega$$

$$X = 2\pi \cdot f \cdot L \rightarrow L = \frac{X}{2\pi \cdot f \cdot l} = \frac{0,1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,428} = 7,44 \cdot 10^{-4} \text{ H}$$

Escalón 8: Línea subterránea de media tensión (MT) que une el centro de transformación BN CT-5 con el centro de transformación BN CR-2

- Longitud: 561 m
- Tipo de cable: Cable HEPRZ1 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE
- Capacitancia: 0,4522 $\mu\text{F}/\text{km}$
- Reactancia: 0,1 Ω/km
- Resistencia: 0,12 Ω/km

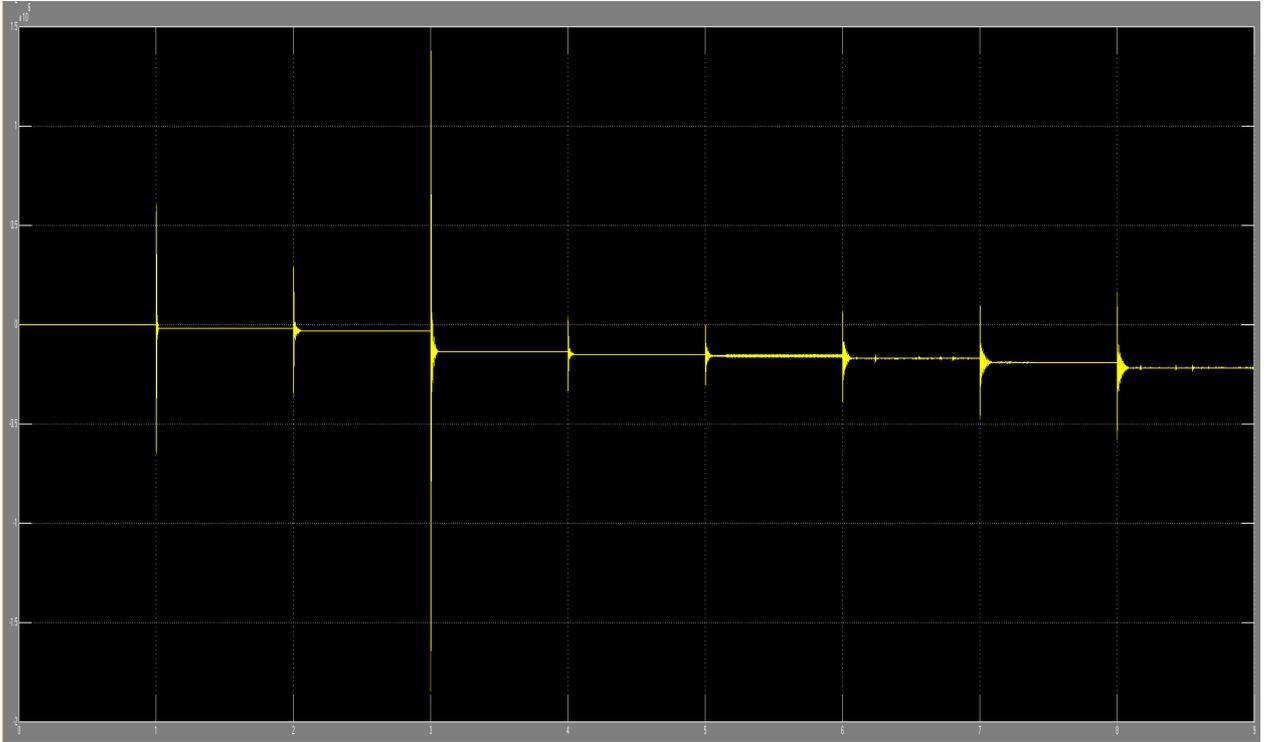
$$C = 0,4522 \cdot 10^{-6} \cdot 0,561 = 2,53 \cdot 10^{-7} \text{ F}$$

$$R = 0,12 \cdot 0,561 = 0,067 \Omega$$

$$X = 2\pi \cdot f \cdot L \rightarrow L = \frac{X}{2\pi \cdot f \cdot l} = \frac{0,1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0,561} = 5,67 \cdot 10^{-4} \text{ H}$$

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

En primer lugar se va a comprobar que la potencia reactiva generada en el ensayo concuerda con la potencia reactiva de la simulación.



Gráfica 6. Potencia reactiva registrada en la simulación

Al igual que el analizador de redes, Simulink calcula la potencia mediante expresiones matemáticas, en función de la corriente, y tensión medida, así como del desfase entre ambas magnitudes. Por esto, en la gráfica de potencia reactiva se observan picos producidos por transitorios de corriente que más adelante se analizarán.

En la gráfica se observan claramente los escalones producidos al ir conectando las cargas que simulan las líneas subterráneas de cables de media tensión.

Para compararla con la potencia generada en el ensayo se ha cogido el valor de potencia reactiva que se generó en el ensayo cuando estaban conectadas el mismo número de líneas.

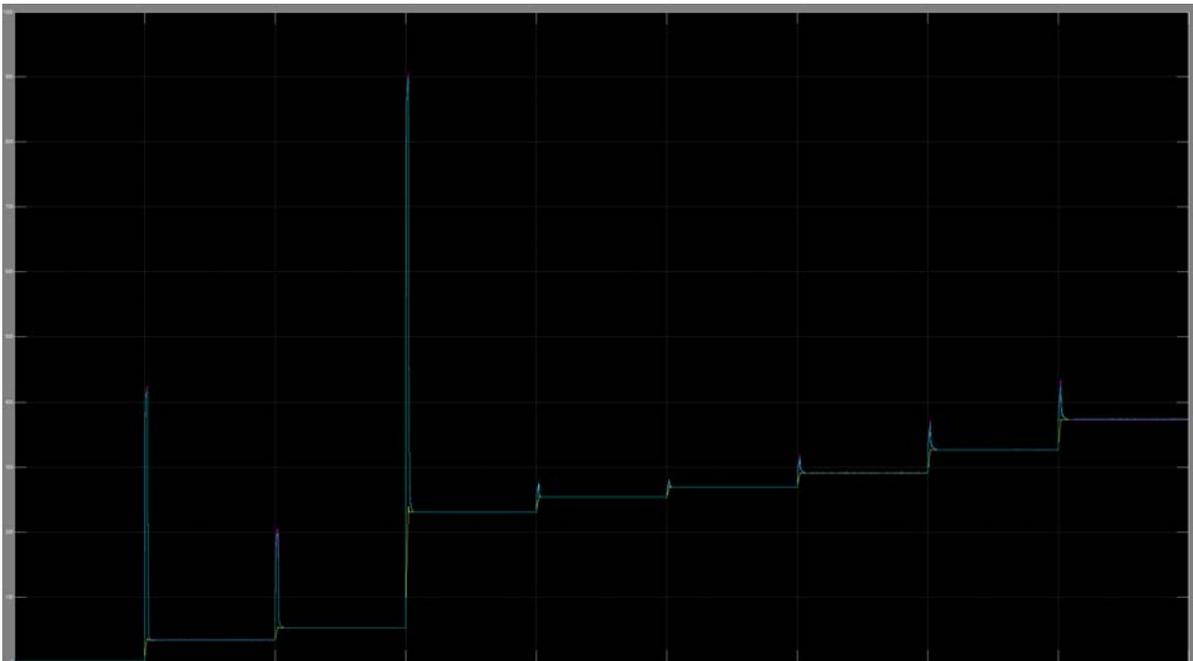
IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

Escalón	Potencia Ensayo (kVAr)	Potencia Simulación (kVAr)
1	-37,5	-19
2		-34
3	-146,9	-138
4	-160,2	-153
5	-170,8	-162
6	-185,4	-177
7	-201,3	-196
8	-229,7	-223

Tabla 20. Potencia reactiva ensayo – Potencia reactiva simulación

Se observa como el circuito construido simula de una manera bastante precisa la potencia reactiva capacitiva generada por los cables subterráneos de media tensión del ensayo.

En segundo lugar, se va a comprobar que se genera la misma corriente que en el ensayo.



Gráfica 7. Corriente registrada en la simulación

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

Escalón	Intensidad ensayo (A)	Intensidad simulación (A)
1	60	30
2		55
3	220	230
4	240	260
5	260	280
6	280	290
7	300	320
8	350	380

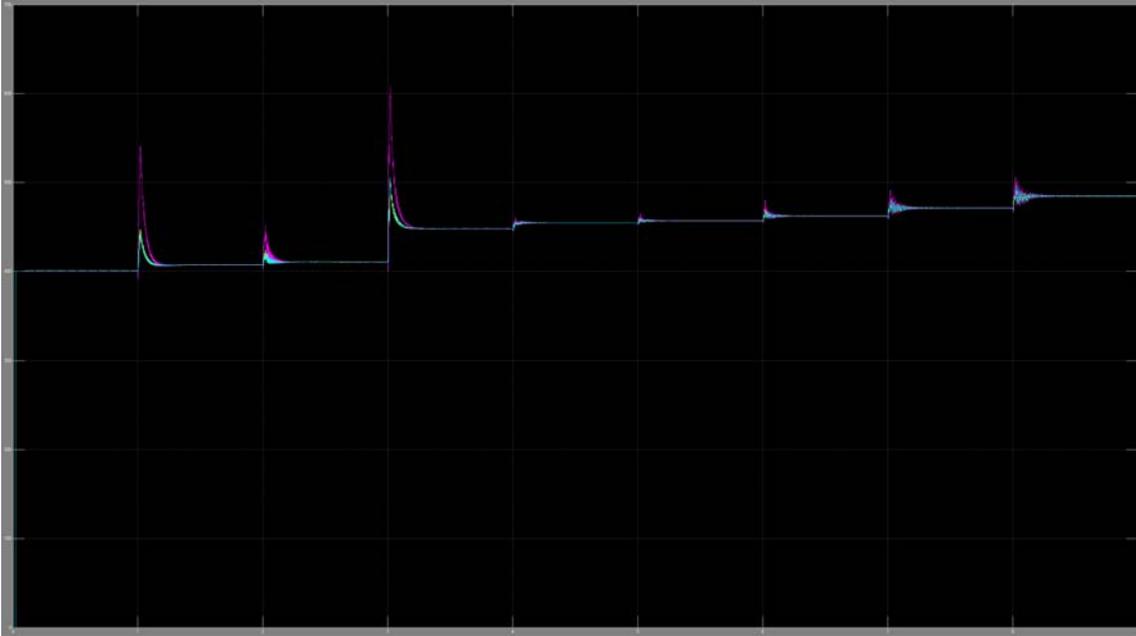
Tabla 21. Intensidad ensayo – Intensidad simulación

Se observa como la corriente de la simulación se asemeja bastante a la obtenida en el ensayo experimental, *Gráfica 4. Corriente registrada en el ensayo.*

Por ello, podemos decir que el circuito construido simula de una manera bastante precisa las condiciones del ensayo.

1.6.4. Simulación de las causas de disparo

En las gráficas siguientes se muestra la tensión de fase en bornes del generador.



Gráfica 8. Tensión registrada en la simulación

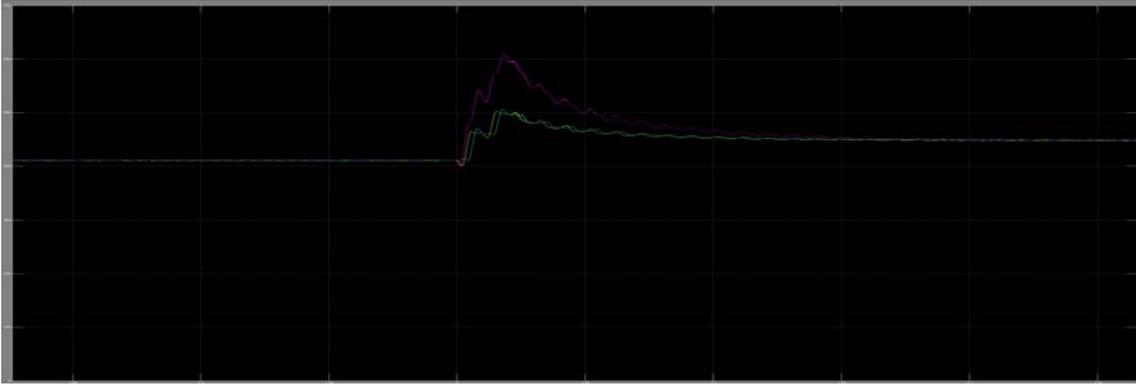
Se observa como al no tener control de tensión, la tensión en bornes del generador aumenta conforme se van conectando escalones de cargas de potencia reactiva capacitiva.

Esto corrobora que llegado a un límite, el control de tensión ya no podrá mantener la tensión constante, debido a que ya no es capaz de reducir la fuerza de campo del generador síncrono, provocando el disparo por sobretensión.

También se observan picos de tensión en la conexión de la líneas producidos por el aumento de potencia capacitiva que suponen dichos escalones.

Al segundo 3, se observa un gran pico en la conexión de la línea que mas potencia capacitiva genera.

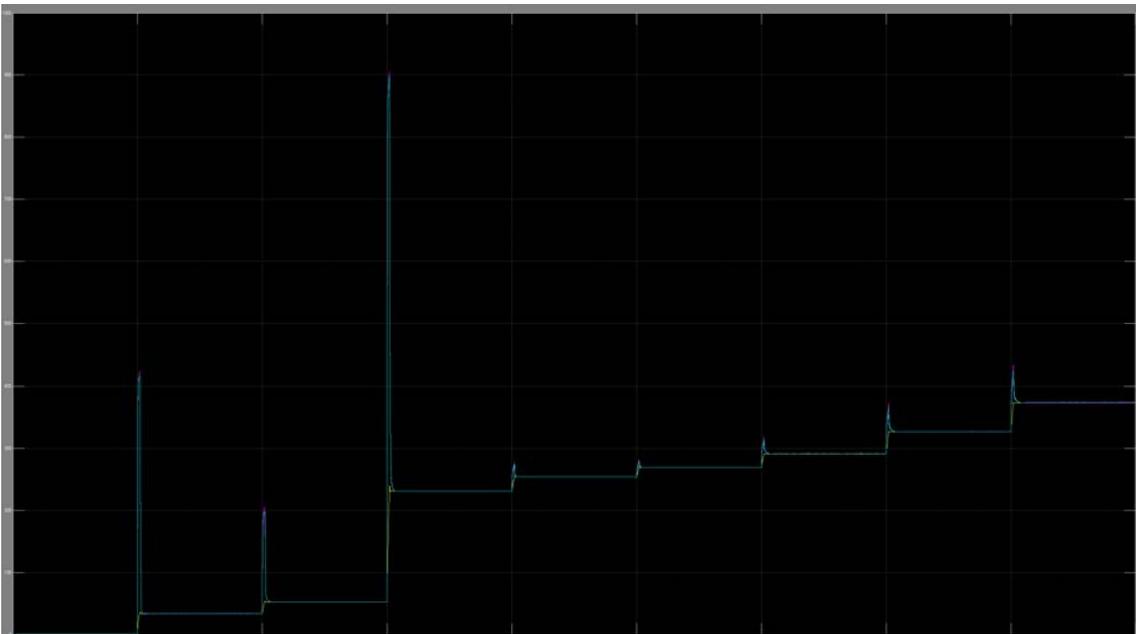
IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO



Gráfica 9. Pico de tensión registrado en la simulación

En dicho pico, se alcanza en unas de las fase los 600 V durante a penas unos milisegundos.

En la gráfica siguiente se muestra la corriente eficaz obtenida en las tres fases de la fuente de alimentación.

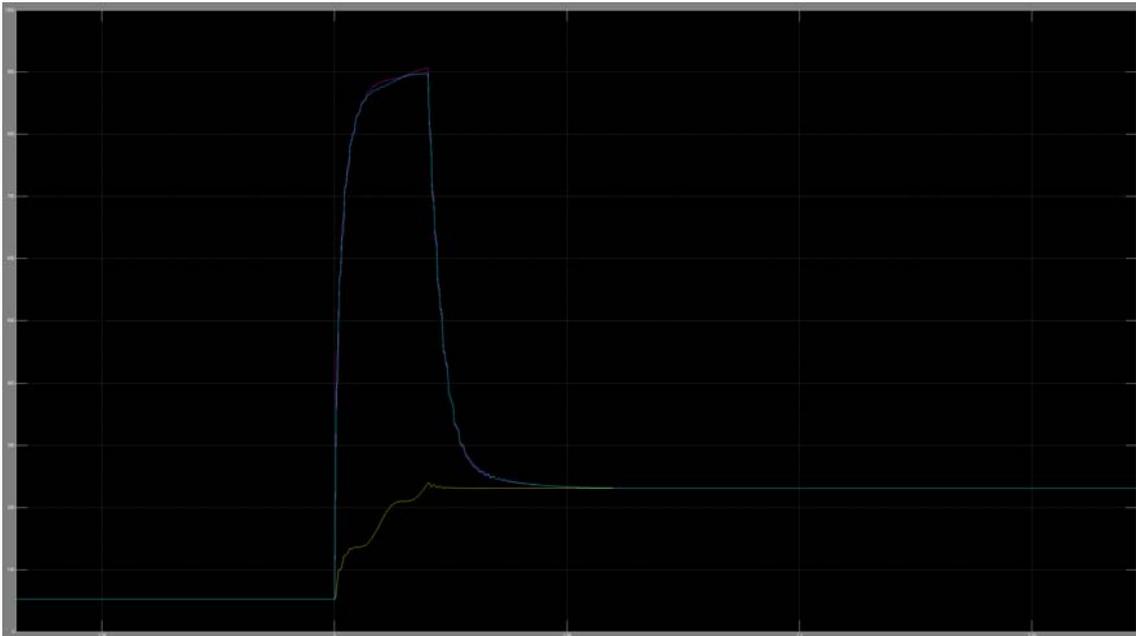


Gráfica 10. Corriente registrada en la simulación

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO

Se observa como al conectar la primera carga se genera un transitorio de corriente de elevada amplitud por el hecho de pasar de una condición de estado estable a una con carga.

Seguidamente se muestran claros picos de corriente en la conexión de cargas capacitivas. Cuanto mayor es el escalón de carga capacitiva, de mayor amplitud es el transitorio de corriente.

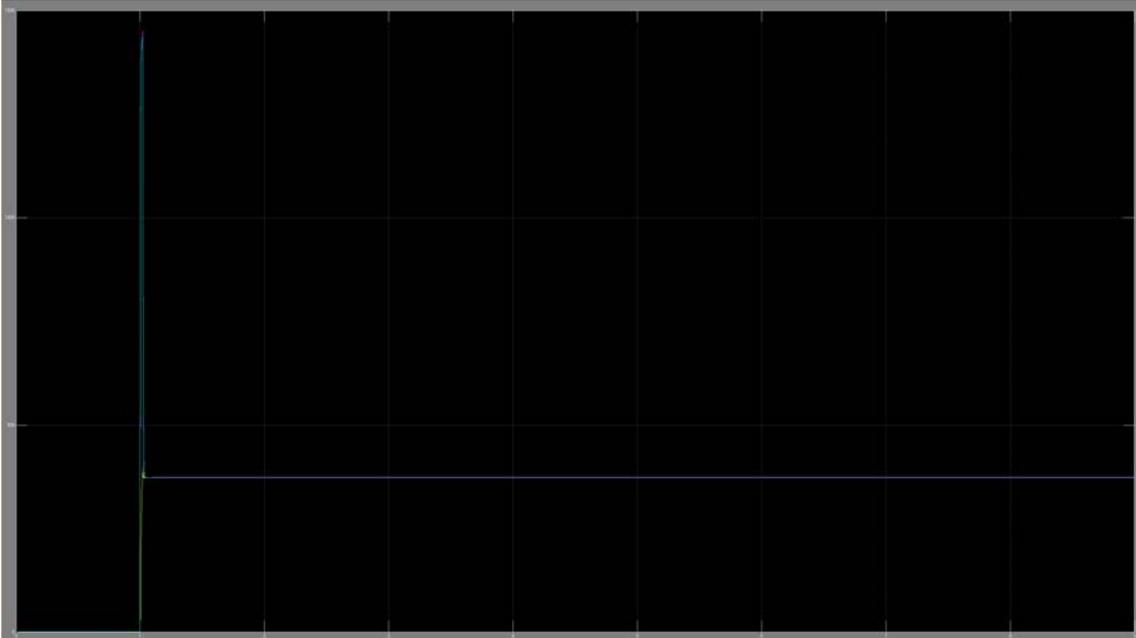


Gráfica 11. Pico de tensión registrado en la simulación

Dicho pico es el causado de conectar el escalón 4. Se observa como dos de las fases alcanzan los 900 A pero en muy pocos milisegundos se estabiliza.

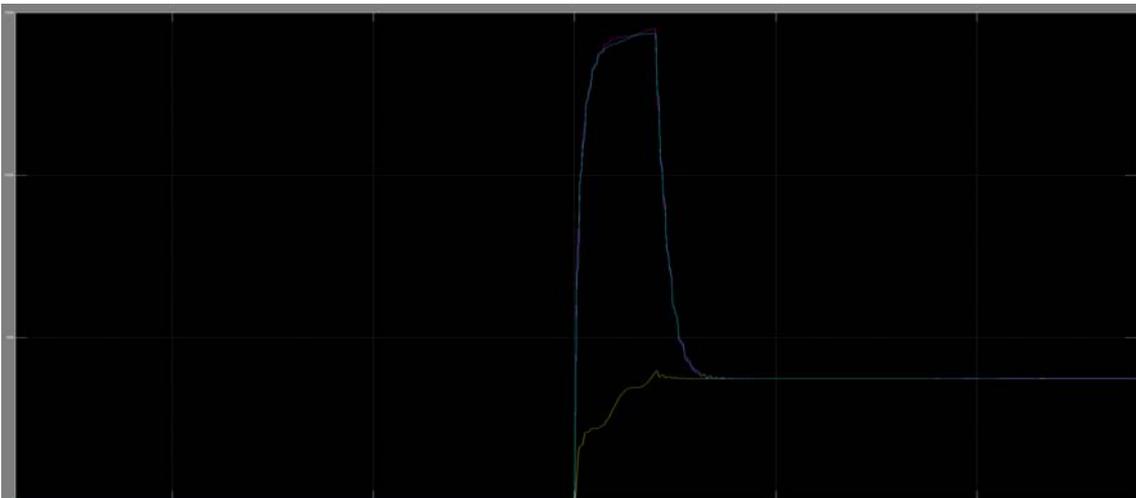
En la siguiente gráfica se han conectado a la vez todas las líneas, con el objetivo de comprobar, si al aumentar el escalón de potencia capacitiva, el transitorio de corriente será de mayor amplitud.

IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE DISPARO



Gráfica 12. Corriente registrada al conectar todas las líneas

Se observa como la amplitud del transitorio de corriente ha aumentado en gran medida. En este caso roza los 1500 A.



Gráfica 13. Pico de corriente registrada al conectar todas las líneas

Se comprueba como al aumentar la amplitud del escalón de potencia capacitiva el transitorio de corriente aumenta.

1.7. ANÁLISIS DE POSIBLES SOLUCIONES

1.7.1. Propuestas teóricas

Para poder evitar los disparos intempestivos del grupo electrógeno se han propuesto una serie de soluciones las cuales se analizan a continuación tanto desde el punto de vista técnico como económico.

1.7.1.1. Colocación de Inductancias de compensación

Al igual que se conectan grupos de condensadores para compensar la energía reactiva, se puede conectar un grupo de inductancias para compensar la energía reactiva capacitiva que generan los cables subterráneos.



Figura 67. Inductancias de compensación

Se debe colocar al inicio de la instalación, en serie entre el grupo electrógeno y la parte de baja tensión del transformador.

Con esto se conseguirá compensar la potencia capacitiva que generan los cables subterráneos provocando que el grupo electrógeno funcione dentro de los límites de funcionamiento impuestos por el diagrama P-Q del generador.

Los principales inconvenientes de la compensación con inductancias son:

- Dificultad de transporte. Debido al elevado tamaño y peso que tiene un grupo de inductancias de compensación medio provoca que su transporte deba hacerse por vehículos especiales.
- Elevado coste económico. Un grupo de inductancias de compensación medio de 50 kVAr ronda los 3000€. Esto hace que si no se prevé su sucesivo empleo no sea rentable su utilización.

En el siguiente apartado se realiza una simulación en el que se observa dicho comportamiento.

1.7.1.2. Tabla con la potencia reactiva que genera cada cable por kilómetro

Debido a la fiabilidad que se ha observado a la hora de calcular teóricamente la potencia reactiva capacitiva que genera un cable subterráneo de media tensión, es interesante realizar una tabla en la que figure la potencia reactiva capacitiva que genera cada tipo de cable subterráneo de media tensión por kilómetro. Con este dato en caso de avería, Iberdrola podrá calcular la potencia capacitiva que se va a generar y elegir la potencia del grupo electrógeno a alquilar con la ayuda del diagrama P-Q facilitado por la empresa de alquiler de grupos electrógenos.

Iberdrola podrá alquilar el grupo electrógeno correctamente sin necesidad de alquilar grupos de mayor potencia de la necesaria. Con esto se evitará el disparo de las protecciones por sobretensión o por baja excitación ya que se elegirá el grupo

ANÁLISIS DE POSIBLES SOLUCIONES

electrógeno que tenga el punto de funcionamiento dentro de la curva de estabilidad del diagrama P-Q.

Además, en caso de necesitar compensar la potencia que generan los cables subterráneos se podrá calcular la potencia del grupo de inductancias necesario para modificar el punto de funcionamiento a una zona dentro del límite de estabilidad del generador.

Para calcular la potencia que genera un cable subterráneo por kilómetro se emplea la siguiente expresión:

$$Q_c (W) = 3 \cdot \frac{V_s^2}{X_c} = 3 \cdot \frac{V_s^2}{\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C \cdot L}} \rightarrow Q_c (W/km) = 3 \cdot \frac{V_s^2}{X_c} = 3 \cdot \frac{V_s^2}{\frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}}$$

TIPO CABLE	CABLE	C μ F/km	Q (kW/km)
2308	DHV 12/20KV 1X150 AL CIRC.C H-16 R SE	0,2967	37,284
2309	DHV 12/20KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE	0,3686	46,319
2316	DHV 12/20KV 1X400 AL CIRC.C H-16 R SE	0,4341	54,550
2301	DHV 12/20KV 1X50 CU CIRC.NC H-16 R SE	0,2052	25,786
2307	DHV 12/20KV 1X95 AL CIRC.C H-16 R SE	0,2557	32,132
3309	DHV 18/30KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE	0,2746	34,507
3307	DHV 18/30KV 1X95 AL CIRC.C H-16 R SE	0,1957	24,592
2708	DHVS 12/20KV 3(1X150)AL C.C H-16+1*50AC R SE	0,2967	37,284
2903	DHZ1 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE	0,3686	46,319
2904	DHZ1 12/20 KV 1X400 AL CIRC.C H-16 R SE	0,4341	54,550
2901	DHZ1 12/20 KV 1X50 AL CIRC.C H-16 R SE	0,2052	25,786
2905	DHZ1 12/20 KV 1X95 AL CIRC.C H-16 R SE	0,2557	32,132
3902	DHZ1 18/30 KV 1X150 AL CIRC.C H-25 R SE	0,2249	28,261
3903	DHZ1 18/30 KV 1X240 AL CIRC.C H-25 R SE	0,2746	34,507
3906	DHZ1 26/45 KV 1X150 AL CIRC.C H-25 R SE	0,23	28,902
2454	EHV 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE	0,9092	114,253
2581	HEPRZ1 (AS) 12/20 KV 1X150 K AL +H16	0,3678	46,219
2582	HEPRZ1 (AS) 12/20 KV 1X240 K AL +H16	0,4522	56,825
2583	HEPRZ1 (AS) 12/20 KV 1X400 K AL +H16	0,5351	67,242
2551	HEPRZ1 (S) 12/20 KV 1X150 K AL+H16	0,3678	46,219
2552	HEPRZ1 (S) 12/20 KV 1X240 K AL +H16	0,4522	56,825
2553	HEPRZ1 (S) 12/20 KV 1X400 K AL +H16	0,5351	67,242
2557	HEPRZ1 (S) 18/30 KV 1X240 K AL+H25	0,3378	42,449
2482	HEPRZ1 12/20 KV 1X150 AL CIRC.C H-16 R SE	0,3678	46,219
2483	HEPRZ1 12/20 KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE	0,4522	56,825
2484	HEPRZ1 12/20 KV 1X400 AL CIRC.C H-16 R SE	0,5351	67,242
2481	HEPRZ1 12/20 KV 1X50 AL CIRC.C H-16 R SE	0,2486	31,239
2479	HEPRZ1 12/20 KV 1X95 AL CIRC.C H-16 SE	0,29	36,442
2486	HEPRZ1 18/30 KV 1X150 AL CIRC.C H-25 R SE	0,2652	33,326

ANÁLISIS DE POSIBLES SOLUCIONES

2487	HEPRZ1 18/30 KV 1X240 AL CIRC.C H-25 R SE	0,3378	42,449
2488	HEPRZ1 18/30 KV 1X400 AL CIRC.C H-25 R SE	0,4001	50,278
2485	HEPRZ1 18/30 KV 1X50 AL CIRC.C H-16 R SE	0,1602	20,131
2501	HEPRZ1 36/66 KV 1X1000 AL CIRC.C H-50 SE-EP	0,245	30,787
2493	HEPRZ1 36/66 KV 1X300 AL CIRC.C H-25 R SE	0,2226	27,972
2480	HEPRZ1 36/66 KV 1X500 AL CIRC.C H-25 R SE	0,267	33,552
2617	P3PFJ 12/20 KV 3X150 AL CIRC.C 3P R PA	0,4096	51,471
2624	P3PFJ 12/20 KV 3X240 CU CIRC.NC 3P R PA	0,509	63,962
2618	P3PFJ 12/20 KV 3X50 CU CIRC.NC 3P R PA	0,2794	35,110
2615	P3PFJ 12/20 KV 3X95 AL CIRC.C 3P R PA	0,3496	43,932
2630	P3PFJV 12/20 KV 3(1X150) AL CIRC.C R PA	0,33	41,469
2608	P3PFJV 12/20KV 3(1X150)AL CIRC.C 3P-390 R PA	0,4096	51,471
2605	P3PFJV 12/20KV 3(1X50)AL CIR.NC 3P-236,4 R PA	0,2794	35,110
2607	P3PFJV 12/20KV 3(1X95)AL CIRC.C 3P-323,1 R PA	0,3496	43,932
3608	P3PFJV 18/30KV 3(1X150)AL CIR.C 3P-442,5 R PA	0,3196	40,162
3609	P3PFJV 18/30KV 3(1X240)AL CIR.C 3P-570,3 R PA	0,3891	48,895
3601	P3PFJV 18/30KV 3(1X50)CU CIR.NC 3P-341,7 R PA	0,2194	27,570
3607	P3PFJV 18/30KV 3(1X95)AL CIRC.C 3P-401,4 R PA	0,2794	35,110
2611	P3PVJFV 12/20 KV 3X150 AL CIRC.C 3P R PA	0,4096	51,471
2610	P3PVJFV 12/20 KV 3X95 AL CIRC.C 3P R PA	0,3496	43,932
1201	PPF 12/15KV 3X25 CU CIRC.NC NR PA	0,1594	20,030
1202	PPF 12/15KV 3X50 CU CIRC.NC NR PA	0,2399	30,146
1203	PPF 12/15KV 3X70 CU CIRC.NC NR PA	0,2596	32,622
1204	PPF 12/15KV 3X95 CU CIRC.NC NR PA	0,2896	36,392
3507	PPFAV 18/30KV 1X95 AL CIRC.C P-133,8 R PA	0,2794	35,110
4507	PPFAV 26/45 KV 1X95 AL RA	0,2099	26,376
1535	PPFJ 12/15KV 3X160 AL CIRC.C P NR PA	0,3291	41,355
1531	PPFJ 12/15KV 3X50 AL CIRC.C P NR PA	0,2399	30,146
1408	PPFV 12/15KV 3(1X150) AL CIRC.C P-402,4 NR PA	0,3196	40,162
1402	PPFV 12/15KV 3(1X70) CU CIRC.C P-285,2 NR PA	0,2596	32,622
1403	PPFV 12/15KV 3(1X95) CU CIRC.C P-325,2 NR PA	0,2896	36,392
1518	PPJ 12/15 KV 3X160 CU CIRC.C P NR PA	0,3291	41,355
1509	PPJ 12/15 KV 3X25 CU CIRC.NC P NR PA	0,1594	20,030
1513	PPJ 12/15 KV 3X50 CU CIRC.C P NR PA	0,2399	30,146
1505	PPJ 12/15KV 3X125 AL CIRC.C P NR PA	0,3094	38,880
1502	PPJ 12/15KV 3X70 AL CIRC.C P NR PA	0,2596	32,622
2108	PPV 12/20KV 1X150 AL CIRC.C P-130 R PA	0,4096	51,471
2110	PPV 12/20KV 1X240 AL CIRC.C P R PA	0,509	63,962
2109	PPV 12/20KV 1X240 AL CIRC.C P-159,3 R PA	0,509	63,962
2111	PPV 12/20KV 1X400 AL CIRC.C P R PA	0,599	75,272
1172	RB 12/15 KV 3X100 CU CIRC.C P-325,2 NR PA	0,2991	37,586
1170	RB 12/15 KV 3X50 CU CIRC.C P-235,2 NR PA	0,2399	30,146
1171	RB 12/15 KV 3X70 CU CIRC.C P-285,9 NR PA	0,2596	32,622
1182	RF 12/15 KV 3X100 CU CIRC.C P-325,2 NR PA	0,2991	37,586
1179	RF 12/15 KV 3X25 CU CIRC.C P-235,2 NR PA	0,1594	20,030
1180	RF 12/15 KV 3X50 CU CIRC.C P-235,2 NR PA	0,2399	30,146
1181	RF 12/15 KV 3X70 CU CIRC.C P-285,9 NR PA	0,2596	32,622
3003	RHZ1-OL 12/20 KV AL 1X240 CIRC.C H16 R SE	0,295	37,070

ANÁLISIS DE POSIBLES SOLUCIONES

3007	RHZ1-OL 18/30 KV AL 1X240 CIRC.C H25 R SE	0,221	27,771
2208	XHV-RHV 12/20KV 1X150 AL CIRC.C H-16 R SE	0,2557	32,132
2209	XHV-RHV 12/20KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE	0,3173	39,873
2200	XHV-RHV 12/20KV 1X25 AL CIRC.C H-16 R SE	0,1602	20,131
2210	XHV-RHV 12/20KV 1X35 CU CIRC.C H-16 R SE	0,1602	20,131
2205	XHV-RHV 12/20KV 1X50 AL CIRC.C H-16 R SE	0,1776	22,317
2207	XHV-RHV 12/20KV 1X95 AL CIRC.C H-16 R SE	0,2202	27,671
4201	XHV-RHV 26/45KV 1X150 AL CIRC.C H-25 R SE	0,1889	23,737
2809	XHVZ-RHVZ 12/20KV 1X240 AL CIRC.C H-16 R SE	0,3173	39,873
2810	XHVZ-RHVZ 12/20KV 1X35 CU CIRC.C H-16 R SE	0,1602	20,131
2807	XHVZ-RHVZ 12/20KV 1X95 AL CIRC.C H-16 R SE	0,2202	27,671

Tabla 22. Potencia reactiva que genera cada cable por kilómetro

1.7.1.3. Interruptor automático con relé electrónico

Para evitar los disparos intempestivos es fundamental que las protecciones no actúen si no hay un riesgo real.

Para asegurar eficazmente esta función, el relé del interruptor automático debe tener en cuenta la perturbación que causan los armónicos y las corrientes transitorias.

Hoy en día, el uso de la tecnología digital, especialmente la utilización simple de circuitos integrados específicos (ASIC) permite fabricar relés electrónicos capaces de comparar el valor eficaz de la corriente con los umbrales de ajuste predeterminados por el usuario. Según el valor, esta comparación se hace con o sin temporización; al sobrepasarse el umbral, la circuitería electrónica dará una orden eléctrica a un actuador que la transformará en una acción mecánica de disparo del interruptor automático.

Relé electrónico

El relé electrónico consta de un toroidal, puesto en cada polo, el cual mide permanentemente la corriente en cada uno de ellos. Esta información es procesada por un módulo electrónico que controla el disparo del automático cuando se exceden los valores de regulación.

La curva del interruptor muestra tres zonas de funcionamiento.

- Zona de funcionamiento “instantáneo”

Proporciona protección contra cortocircuitos de alta intensidad. Viene fijado de fábrica en un valor fijo (5 a 20 kA) o se ajusta según el dispositivo.

- Zona de funcionamiento con “retardo corto”

Proporciona protección contra cortocircuitos de intensidad menor, lo que generalmente tiene lugar al final de la línea. Generalmente el umbral de activación es ajustable. El periodo de retardo puede ser aumentado en pasos de hasta un segundo para asegurar la selectividad con los dispositivos colocados aguas abajo.

- Zona de funcionamiento con “retardo largo”

Es similar a las características de un relé térmico. Protege a los conductores contra sobrecargas.

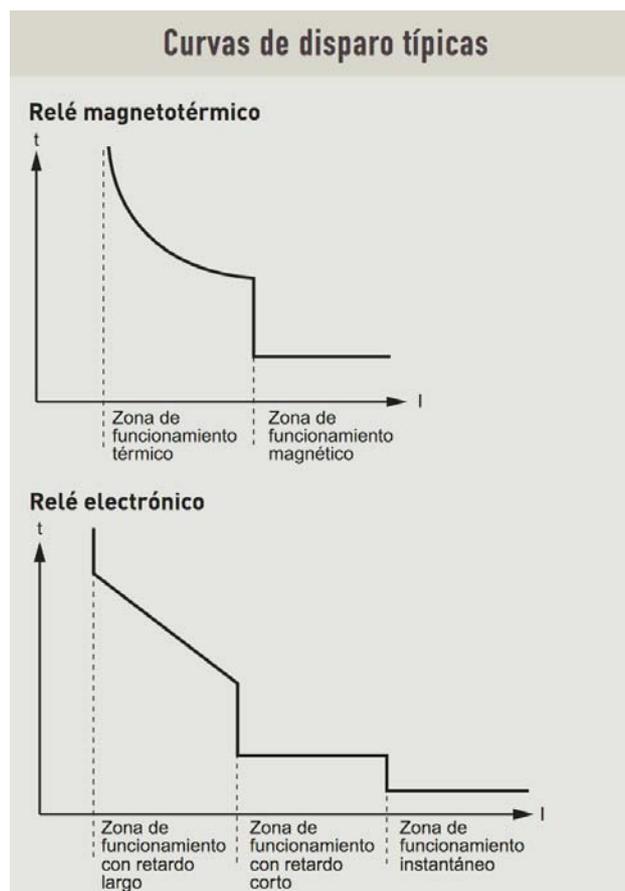


Figura 68. Curvas de disparo típicas

ANÁLISIS DE POSIBLES SOLUCIONES

Por lo tanto, empleando un interruptor con relé electrónico y configurándose para no disparar por los transitorios de conexión de cargas capacitivas o por la corriente de Inrush se evitará el disparo por sobrecorriente. Dicho interruptor solo disparará en caso de riesgo real en el cual el fallo sea suficientemente prolongado y de una amplitud excesivamente elevada.

Los grupos electrógenos más modernos ya cuentan con interruptores automáticos de protección con relé electrónico por lo que no haría falta cambiarlos.

1.7.2. Simulación de la conexión de inductancias de compensación

El siguiente modelo pretende corroborar mediante una simulación la compensación de la potencia capacitiva que generan los cables subterráneos mediante la conexión de un grupo de inductancias.

El modelo empleado es el utilizado para representar las condiciones del ensayo experimental, al que se ha conectado una carga inductiva de 50 kVAr a la entrada del primario del transformador a través de un interruptor que se cerrará en el segundo 6.

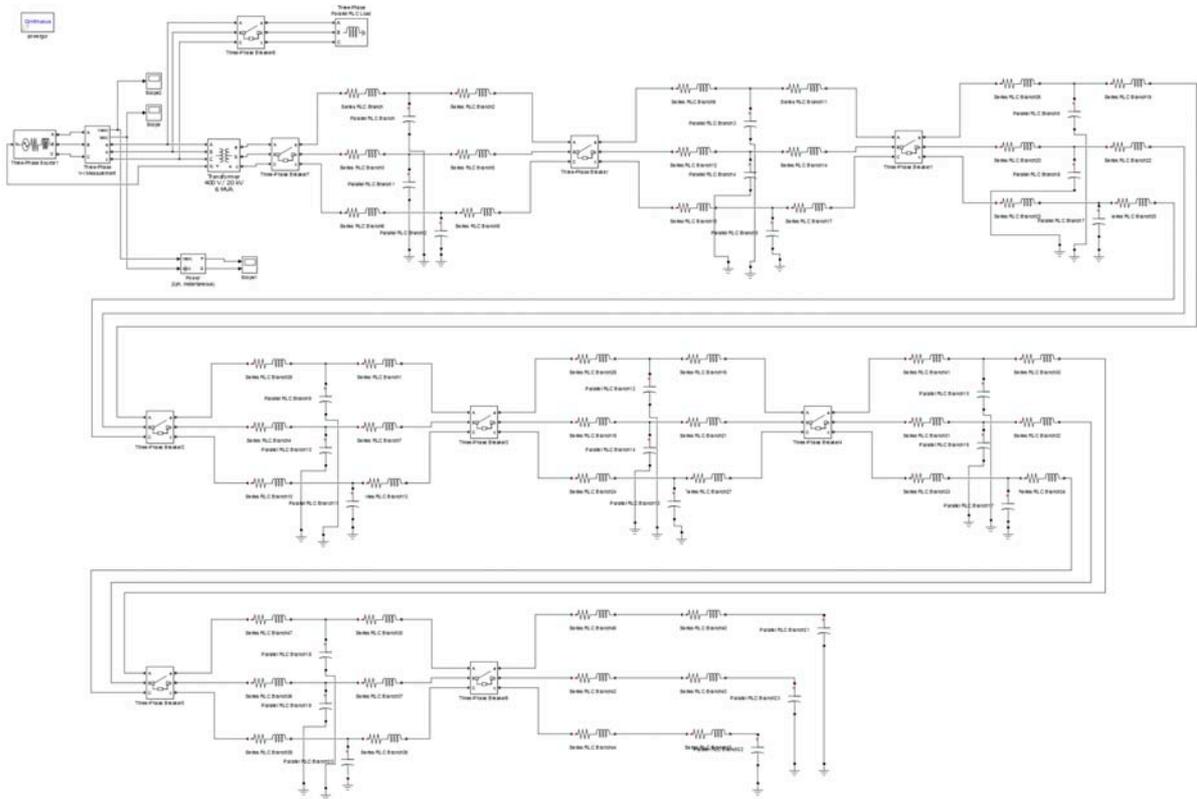
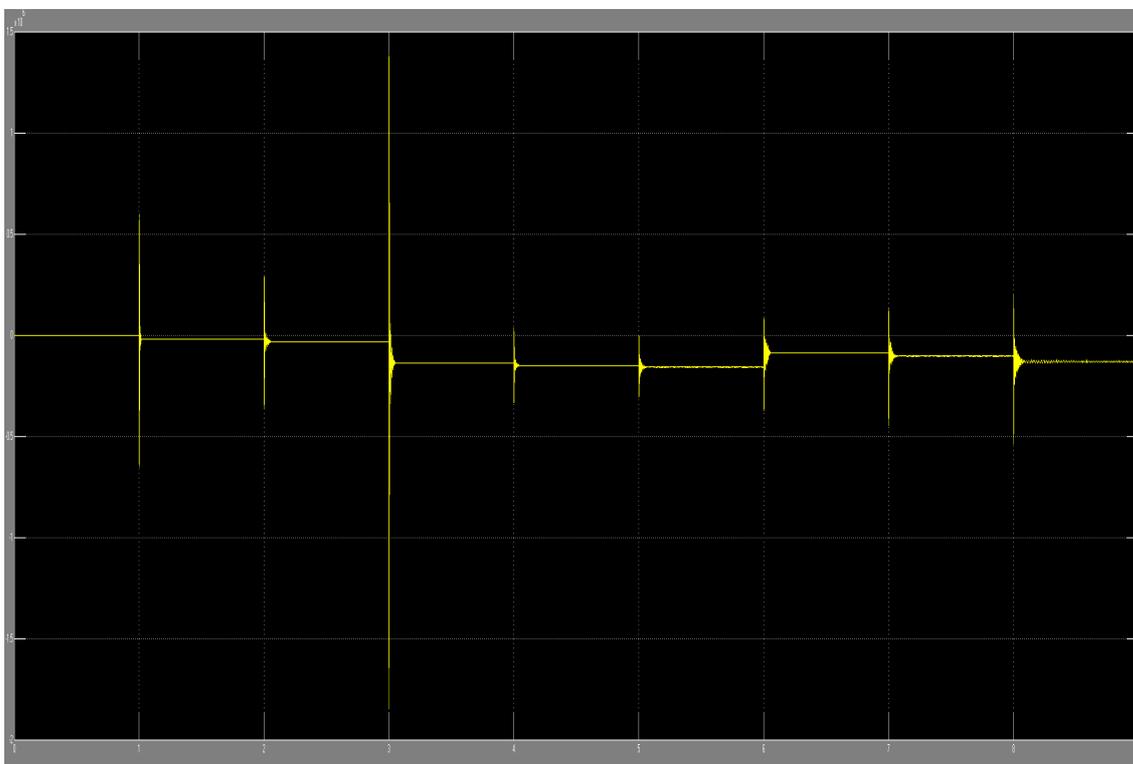


Figura 69. Modelo de simulación con inductancias de compensación

En la gráfica siguiente se muestra la potencia reactiva generada en la simulación.



Gráfica 10. Potencia registrada en la simulación con inductancias de compensación

Se observa como en el segundo 6 la potencia reactiva capacitiva disminuye 50 kVAr confirmando la compensación de potencia reactiva que se produce al conectar un grupo de inductancias.

Esta solución se puede emplear cuando el circuito a alimentar con grupo electrógeno vaya a generar una potencia capacitiva mayor al límites de estabilidad del generador. En ese caso se conectará un grupo de inductancias de compensación de suficiente capacidad de compensación para hacer funcionar al generador dentro de sus límites de funcionamiento.

1.8. CONCLUSIONES

Los objetivos que se pretendían conseguir en el desarrollo de este proyecto eran, por un lado, analizar el comportamiento del grupo electrógeno a la hora de alimentar cargas aisladas de la red para ver qué efectos motivan los disparos del interruptor de protección, y por otro lado, buscar posibles soluciones al problema.

En primer lugar se ha observado como un cable subterráneo actúa como un condensador fijo generando potencia reactiva capacitiva, provocando un aumento de tensión y transitorios de corriente en la conexión.

Como se ha visto, un generador síncrono aislado de la red regula su tensión de salida mediante la variación de su excitación. En el caso de los grupos electrógenos constan de una tarjeta AVR la cual se encarga de mantener el nivel de tensión constante con la variación de la excitación del generador.

Además cuenta con un módulo de control el cual se encarga de proteger y controlar el grupo electrógeno. Tiene una serie de alarmas programables cuya misión es disparar el interruptor automático en caso de superar dichos parámetros; entre ellas están las alarmas de sobretensión, baja excitación y sobreintensidad.

En el caso de alimentar muchas redes subterráneas puede provocar un excesivo aumento de la tensión que desestabilice el control automático de la tensión del grupo electrógeno provocando el disparo del interruptor automático ya sea por sobretensión o por baja excitación.

El límite de estabilidad se puede observar en el diagrama P-Q del generador en el cual se muestra la potencia capacitiva que puede hacer perder el control de voltaje del generador.

También se ha visto que cuando se energiza un transformador, por causa de la magnetización del núcleo de hierro, aparece en el bobinado primario una corriente transitoria conocida como “corriente inrush”. Dicha corriente puede provocar el disparo del interruptor automáticos por sobrecorriente.

Para corroborar dicho estudio se ha realizado un ensayo experimental en el que aún no habiendo conseguido disparar la protección del grupo electrógeno si que se han

observado importantes picos de corriente y la fiabilidad del cálculo teórico de la potencia capacitiva que genera un cable subterráneo.

Para finalizar el estudio se ha realizado una simulación en el que se ha podido observar el aumento de la tensión que producen las cargas capacitivas así como los transitorios de corriente que se generan en la conexión de dichas cargas.

Por lo tanto, una vez se han encontrado y analizado los efectos que motivan los disparos del interruptor automático, se han propuesto una serie de soluciones. Entre ellas, colocar un banco de inductancias que pueda compensar la potencia capacitiva, colocar interruptores automáticos con relé electrónico en el que se pueda configurar el tiempo de disparo, además de la realización de una tabla en la que se muestre los tipos de cables instalados y la potencia capacitiva que generan por kilómetro.

Como conclusión final decir que hay que tener especial atención cuando se vayan a alimentar cargas capacitivas. Siempre que sea posible pedir el diagrama P-Q del generador a utilizar y comprobar que las alarmas del módulo de control del grupo electrógeno estén bien configuradas. Además siempre que sea posible proteger el grupo con un interruptor automático con relé electrónico en el que se pueda configurar el retardo del disparo.

Cuando se alimenten líneas subterráneas hay que realizar la conexión de escalones de líneas lo más cortas posibles y no realizar la conexión de más de un centro de transformación a la vez ya que la corriente de inrush se superpondría y provocaría un pico de peligrosa magnitud.

Como conclusiones académicas, decir que la redacción del Proyecto Final de Carrera me ha permitido relacionar los distintos conceptos y conocimientos adquiridos a lo largo de la titulación en las distintas asignaturas cursadas, con lo que valoro de forma positiva el desarrollo del mismo considerando que ha sido muy útil para completar mi formación como Ingeniero Eléctrico.

Deseo manifestar mi agradecimiento a mis profesores, a mi Director del Proyecto, a ElectroGrup, a Iberdrola y a todas las personas que me han apoyado.

CONCLUSIONES

Este proyecto se ha intentado realizar de manera profesional y procurando en todo momento realizar una explicación clara y entendedora con tal de facilitar la lectura y comprensión de cualquier otro lector.

Aunque siempre existen aspectos que podrían ser mejorados, se considera que los objetivos establecidos inicialmente, se han podido cumplir en gran medida.

Por otra parte, durante el desarrollo del proyecto pude relacionarme con personas involucradas en el ámbito de la ingeniería eléctrica, de cuya experiencia y trayectoria jamás se termina de aprender y de quienes pude tomar todos los consejos y enseñanzas posibles.

2. ANEXOS

.

2.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL GENERADOR SÍNCRONO DEL ENSAYO EXPERIMENTAL

Fecha : 12/12/2014

V4.02 - 11/2014

Moteurs Leroy-Somer
Electric Power Generation
Avda.EUROPA 25 ZAISA - 20305 IRUN

Chargé d'Affaire : ASIER ESNAOLA
+34 943 63 06 60
asier.esnaola@emerson.com
EA

Características generales:		Cantidad	1
Tipo de alternador:	LSA 49.1 L11 / 4p		
Potencia:	1 000,0 kVA	800,0 kWe	841,7 kWm
Tensión:	400 V	Tri estrella	
	+5/-5%		
Coseno phi:	0,8 nominal		
Frecuencia:	50 Hz		
Velocidad:	1500 rpm		
Corriente nominal:	1 443 A		
Tipo bobinado :	p2/3		
Aislamiento / Calentamiento :	H / H (Std-by)		
Tª Ambiente:	40 °C		
Altitud:	1000 m		

Instalación:	
Cliente :	AtLAS COPCO
Proyecto :	1,63E+09
Accionamiento :	Motor reciproco
Constructor :	
Tipo :	
Servicio:	Servicio emergencia (Peak Rating)
Restricción:	

Mechanical Construction :		IM1201
Construcción :	Monopaliier	
Eje :	Horizontal	
Sentido de giro :	Horario(visto desde lado accionamiento)	
Tipo de palieres:	Rodamientos	
Aislamiento palieres :	No aislado	
Lubricación :	Reengrasable	
Tipo de discos	A definir	
Equilibrado :	A definir	
Clase de equilibrado :	G2,5 (std)	
Contrabrida :	SAE 0	
Altura de eje :	400 mm	
Anchura :	686 mm	
Juego axial :	Estandar	

Refrigeración:		IC01
Protección :	IP23	
Fluido Refrigerante :	Aire / Temperatura : 40 °C	
Calidad aire :	Aire limpio	
Ventilación (interna):	Autoventilado	
Filtro :	Sin filtro	
Conexión Entrada de aire :	No	
Conexión Salida de aire :	No	

Conexión y regulación:

Marcha en paralelo :	Aislado (0 F)
Tipo de excitación:	AREP
Capacidad de Icc trifasico :	> 3 x In durante 10s.
Tipo de regulador:	R450
Posición del regulador	En la caja de bornas
Detección tensión :	En la caja de bornas / No suministrado
Antiparasitaje:	Clase N

Comentarios: R450

Accesorios de protección y medida

Resistencias de caldeo :	Tensión : 230 V / Mono / Potencia : 500 W
--------------------------	---

Comentarios: PMG

Caja de bornas :

Conexión de potencia :	6 bornas (3 neutros externos)
Lado salida fases :	Lado izquierdo (visto desde el eje)
Placa prensaestopa :	Amagnético

Preguntas diversas :

Embalamiento : / Duración :	0 rpm / 2 min.
Pintura :	C3L - Primary - RAL 7032
Documentación :	Manual en PDF
Idioma :	Spanish
Requested quality level	

Controles :

Normas :	CEI
	Medida de las resistencias de bobinado
	Control de sondas (si están en su sitio)
	Equilibrio de tensiones, orden de fases
	Ensayo de embalamiento
	Ensayo dieléctrico de los bobinados
	Medidas de la resistencia de aislamiento

Características generales:

Potencia:	1 000 kVA	800 kWe	842 kWm
Tensión:	400 V	Frecuencia:	50 Hz
Rango de tension	+5% / -5%	Velocidad:	1500 rpm
Coseno phi:	0,8	Phases	3
Corriente nominal:	1 443 A	Connexion	Tri estrella
Aislamiento / Calentamiento :	H / H (Std-by)	Tipo bobinado :	p2/3
Refrigeración :	IC01	Bobinado	6
Tª Ambiente:	40 °C	Overspeed (rpm)	1800
Altitud:	1000 m	Distorsión Harmónica Total (THD) < 5%	
Servicio: Peak Rating			

Rendimientos (Base 1000 kVA)

	25%	50%	75%	100%	110%
Coseno phi: 0,8	93,7	95,4	95,4	95,0	
Coseno phi: 1	94,4	96,4	96,7	96,6	

Reactancias (%) - (Base 1000 kVA)

		No saturadas		Saturadas		
		Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal	
Reactancia síncrona	Xd	346	273	Xq	177	139
Reactancia transitoria	X'd	20,7	16,5	X'q	177	139
Reactancia subtransitoria	X''d	16,4	13,1	X''q	18,1	14,5
Reactancia inversa	X2	17,2	13,8			

X0	0,8	Reactancia homopolar
XI	8,2	Reactancia de fuga estátor
Xr	12,9	Reactancia de fuga rotor
Kcc	0,37	Ratio de cortocircuito

Constantes de tiempo (s)

	Longitudinal		Transversal	
	T'do	T'd	T'qo	T'q
Constante de tiempo transitorio en circuito abierto	2,11		NA	
Constante de tiempo transitorio en cortocircuito	0,126		NA	
Constante de tiempo subtransitorio en circuito abierto	0,013		0,088	
Constante de tiempo subtransitorio en cortocircuito	0,010		0,009	

Ta	0,015	Constante de tiempo inducido
----	-------	------------------------------

Resistencia (%)

Ra	3,7	Resistencia de inducido	R0	0,3	Resistencia homopolar
X/R		Ratio X/R (sin unidad)	R2	3,4	Resistencia inversa

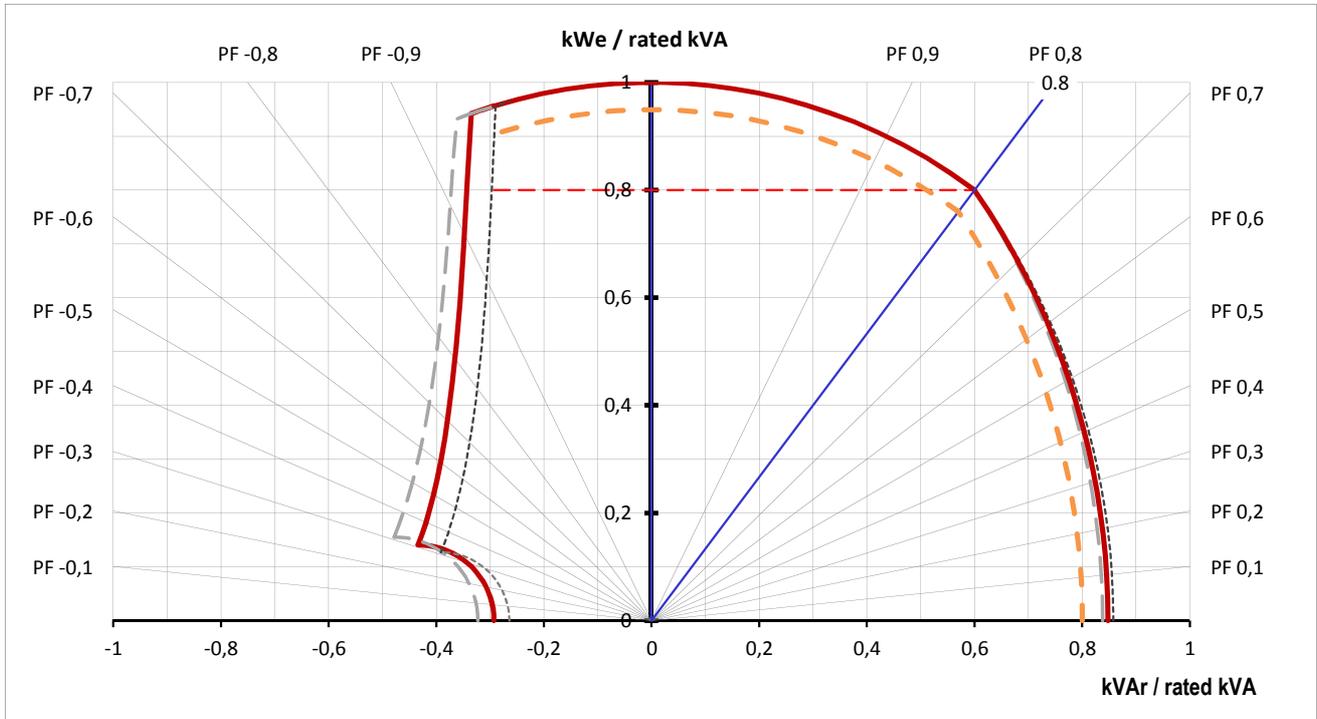
Fecha : 12/12/2014

1000kVA - 400V - 50 Hz

V4.02 - 11/2014

Capability Curve

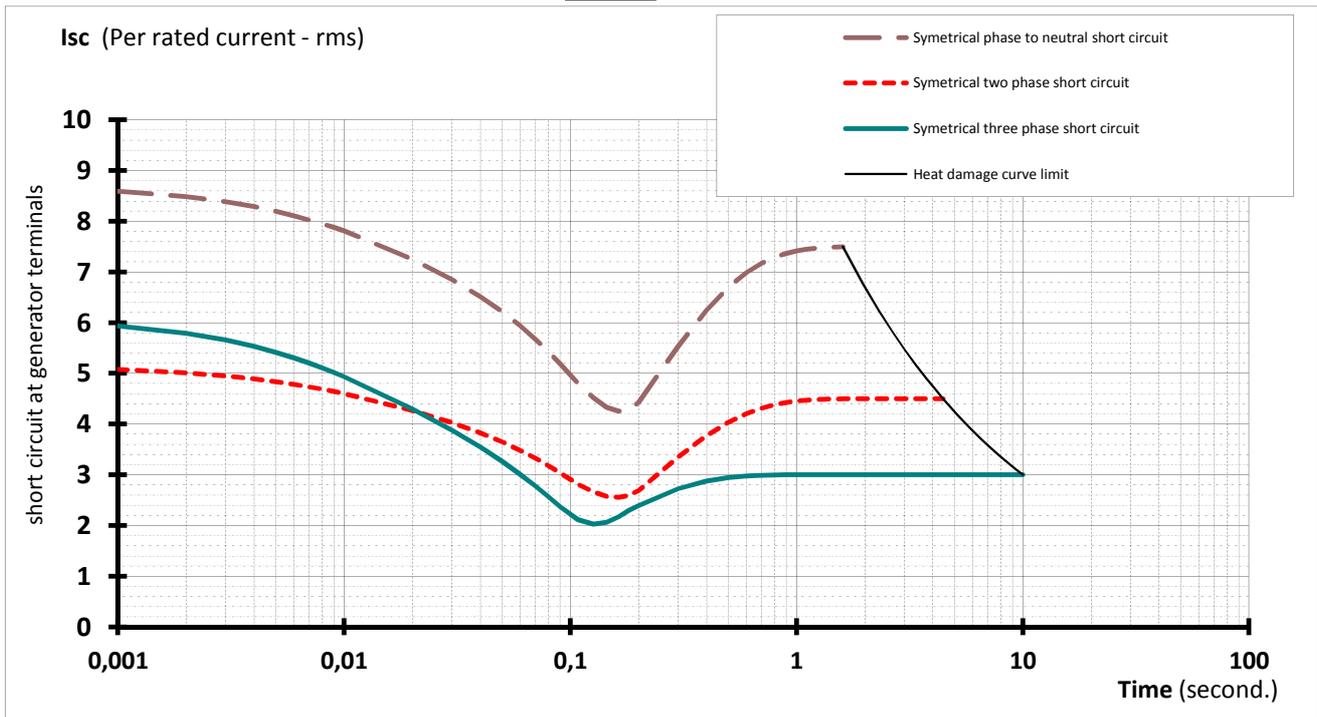
---	Umax	+ 5%	420	V
---	Un		400	V
---	Umin	- 5%	380	V
---	Thermal Limit			



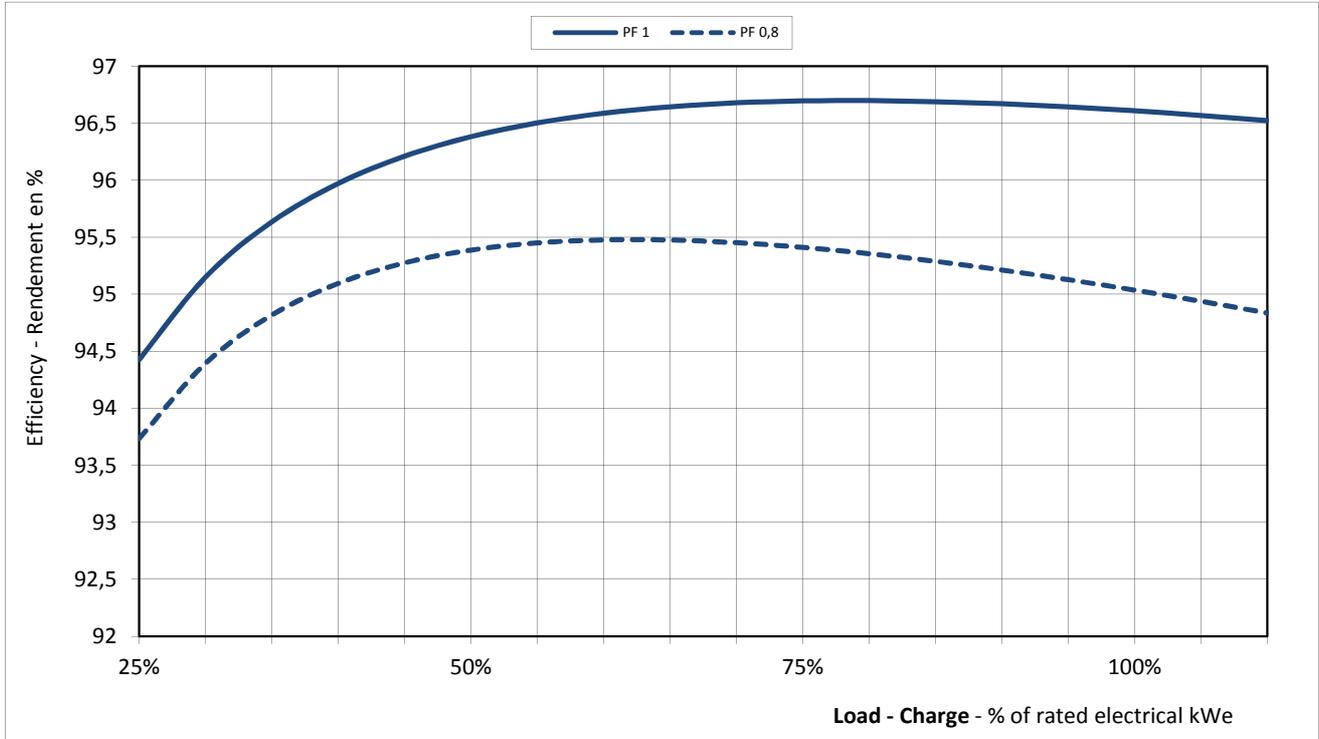
Stator Current decrement curves

symetrical phase to neutral short circuit
symetrical two phase short circuit
symetrical three phase short circuit

initial	12 401	A	8,6 x In	
max	7 325	A	5,1 x In	In = 1443 A
value	8 567	A	5,9 x In	

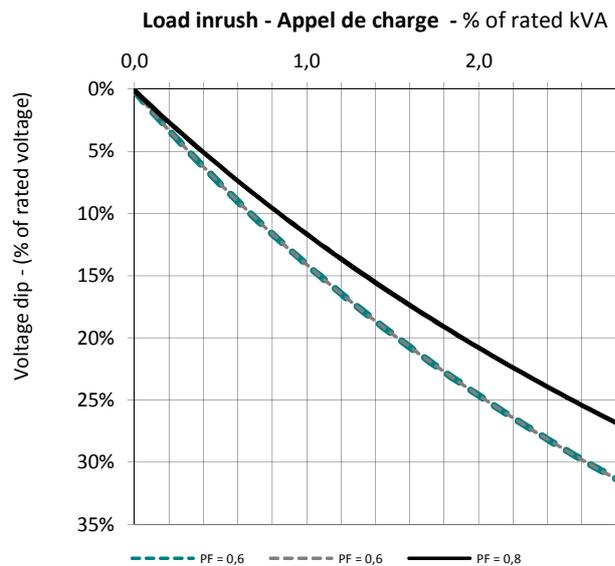


Efficiency Curves

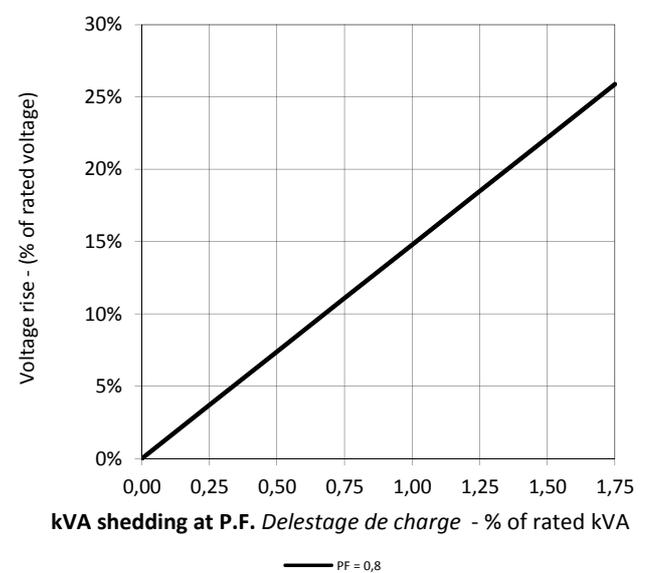


Transient Voltage Variation

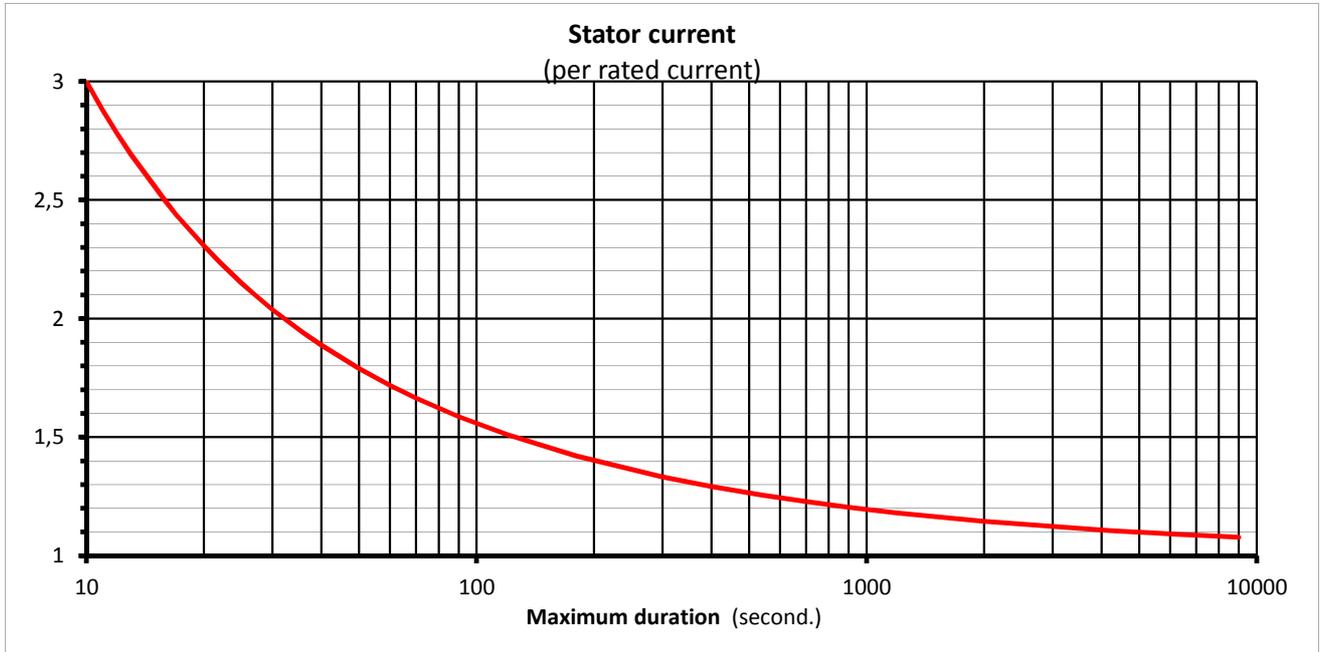
Transient voltage dip curve versus load impact



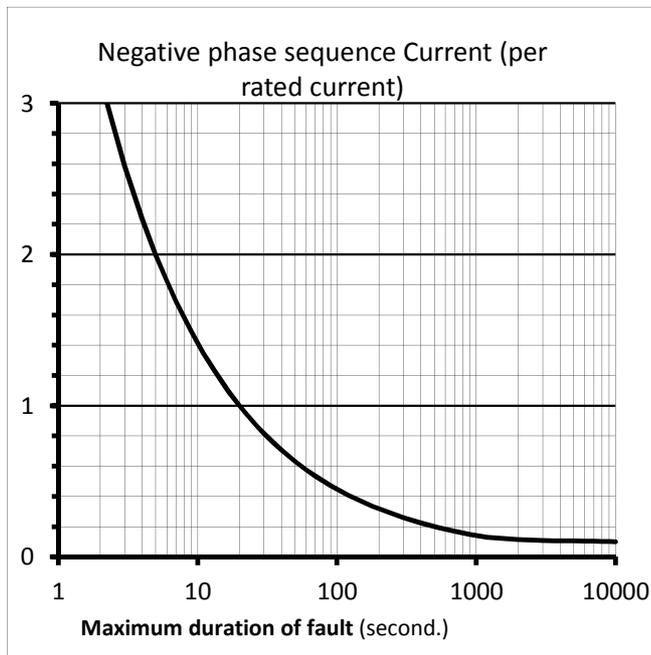
Transient voltage rise curve versus load rejection



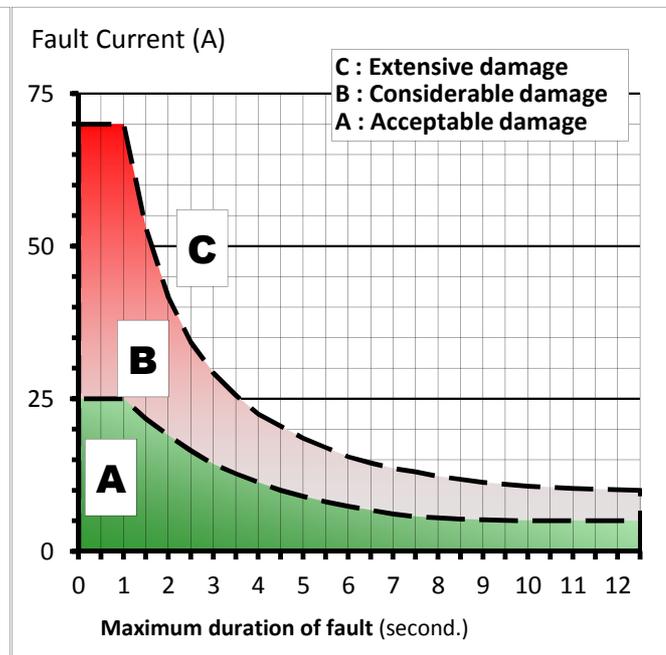
Thermal Damage Curve



Unbalance Load Curve



Stator Earth Fault Current



2.2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MÓDULO DE CONTROL Qc4001

Especificaciones técnicas

Precisión: Clase 1.0 según IEC 688.

Temperatura de funcionamiento: -25...70 °C.

Suministro auxiliar: 12/24 V de CC -25/+30 %.

Rendimiento garantizado hasta 6 V (durante 1 s, como máximo) durante el arranque.

Tensión de medición: 100...690 V de CA. Consumo máximo: 0,15 VA por fase.

Frecuencia: 30...70 Hz.

Corriente de medición: Desde transformadores de corriente .../1 A o .../5 A. Consumo máximo: 0,3 VA por fase.

Entradas binarias: Voltaje de entrada 6...32 V de CC. Impedancia 2,4 k Ω , bidireccional.

Salidas de colector abierto: Voltaje de suministro 6...32 V de CC. Carga máx. 10 mA.

Líneas de reparto de carga: +/-5 V de CC.

Entradas analógicas: +/-10 V de CC, impedancia 100 k Ω (sin separación galvánica).

Salidas de relé: 250 V/8 A o 24 V de CC/1 A. Consulte la descripción real de E/S.

Seguridad Categoría de instalación EN 61010-1 (categoría de sobretensión) III, 600 V, contaminación grado 2.

Homologación CE y C-UL.

Separación galvánica: Entre voltaje de CA, corriente de CA y otras E/S: 3.250 V de CA – 50 Hz – 1 min. Entre salidas analógicas: 500 V de CC – 1 min.

EMC/CE: Según EN-50081-1/2, EN-50082-1/2, SS4361503 (PL4) e IEC 255-3.

Material: Todos los componentes de plástico son autoextinguibles según UL94 (V1).

Clima: HSE, según DIN 40040.

Conexiones: 4 mm² multitrenzado para intensidades de CA; en todos los demás casos, 2,5 mm² multitrenzado.

Tiempos de respuesta: Desde que se alcanza el punto de ajuste hasta que se activa la salida y se establece el retardo a 0.

Generador: Sobretensión y voltaje mínimo 70-200 ms.

Frecuencia excesiva e insuficiente 70-200 ms.

Intensidad: 100-200 ms.

Sobreintensidad rápida: <42 ms.

Alta sobreintensidad: 100-200 ms.

VCamF: 100 ms (4 períodos).

Salto de vector: 30 ms.

Protección: Carcasa: IP40.

Terminales: IP20.

Panel del operador: IP52.

A IEC 529 y EN 60529.

Montaje: Montaje de base con seis tornillos o montaje en riel DIN.

Protección de placas de circuito impreso: todas las placas de circuito impreso deben rociarse para garantizar un correcto funcionamiento del controlador en entornos húmedos.

Pruebas en frío de acuerdo con IEC 68-2-1.

Pruebas con calor seco de acuerdo con IEC 68-2-2-

Pruebas dinámicas con calor húmedo de acuerdo con IEC 68-2-30.

Pruebas de vibración de acuerdo con IEC 60068-2-6.

Pruebas de impactos de acuerdo con IEC 68-2-27.

Pruebas de inflamabilidad de acuerdo con IEC 695-2-2.

3. PLANOS

.

3.1. ÍNDICE DE PLANOS

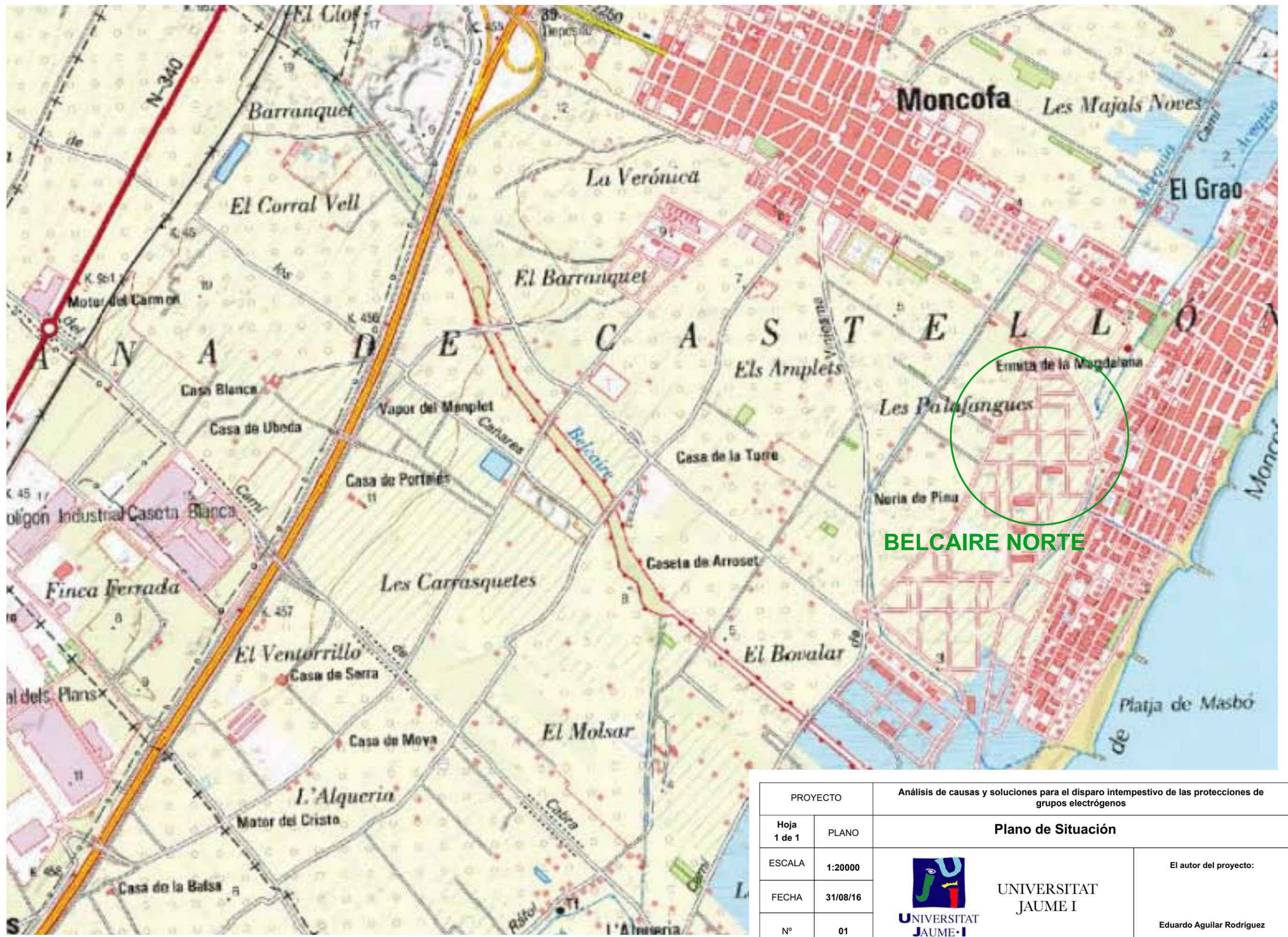
01 Plano de Situación

02 Plano de Emplazamiento

03 Esquema Unifilar del Ensayo

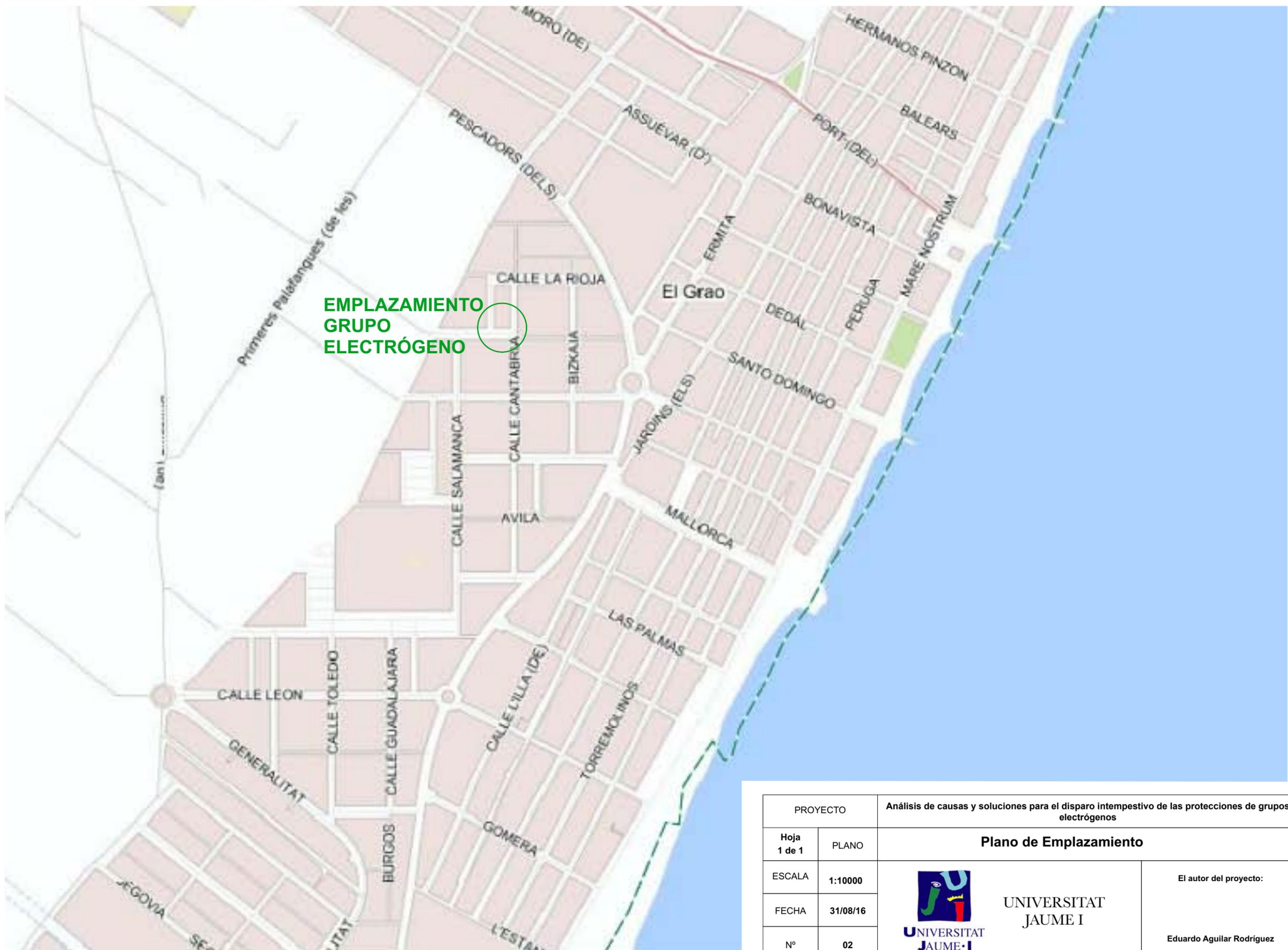
04 Centro de Transformación BN CT-7 – Obra civil y aparamenta –

05 Centro de Transformación BN CT-7 – Esquema Unifilar y sistema P.A.T –

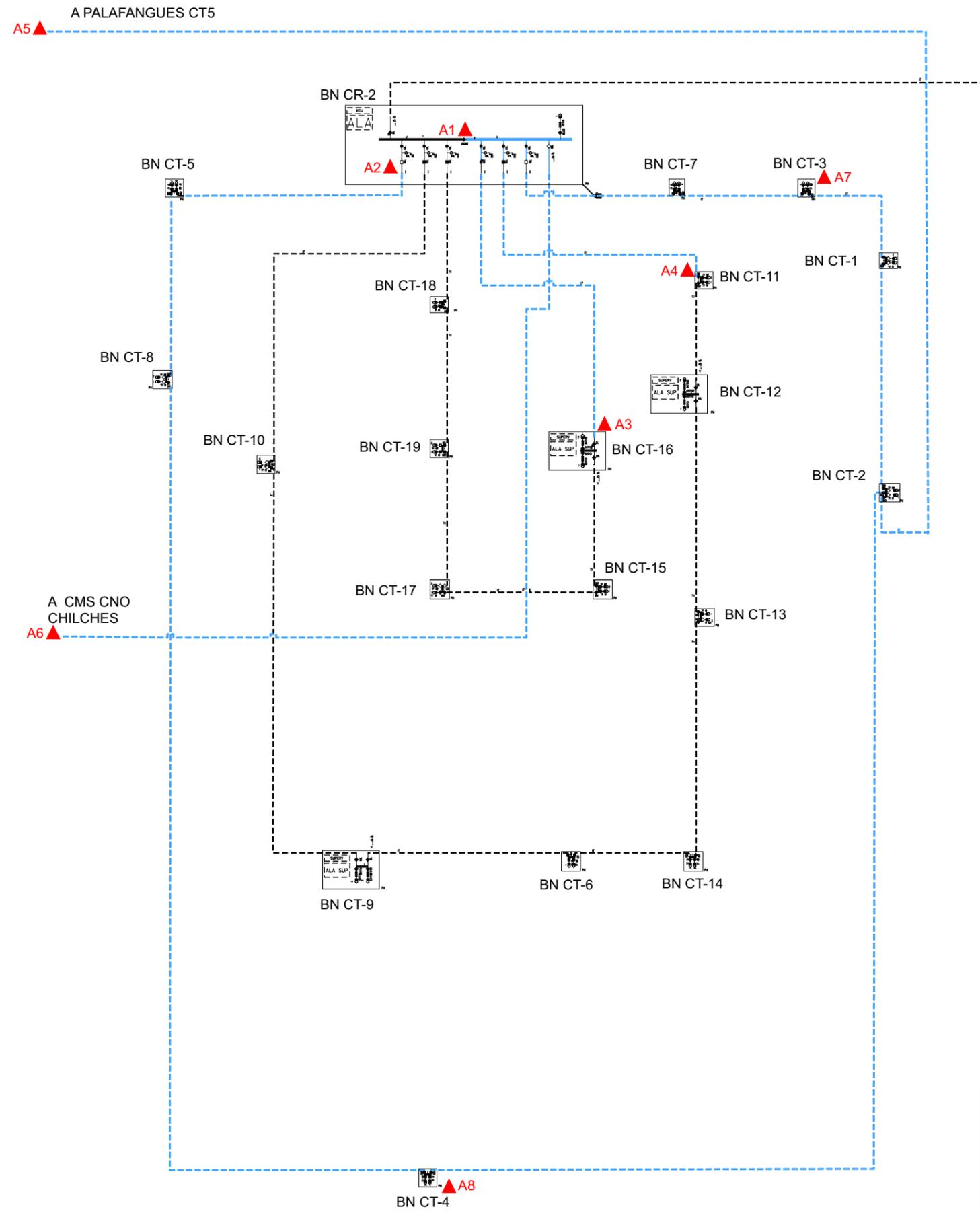


BELCAIRE NORTE

PROYECTO		Análisis de causas y soluciones para el disparo intempestivo de las protecciones de grupos electrógenos	
Hoja 1 de 1	PLANO	Plano de Situación	
ESCALA	1:20000	 UNIVERSITAT JAUME I	El autor del proyecto:
FECHA	31/08/16		Eduardo Aguilar Rodríguez
Nº	01		



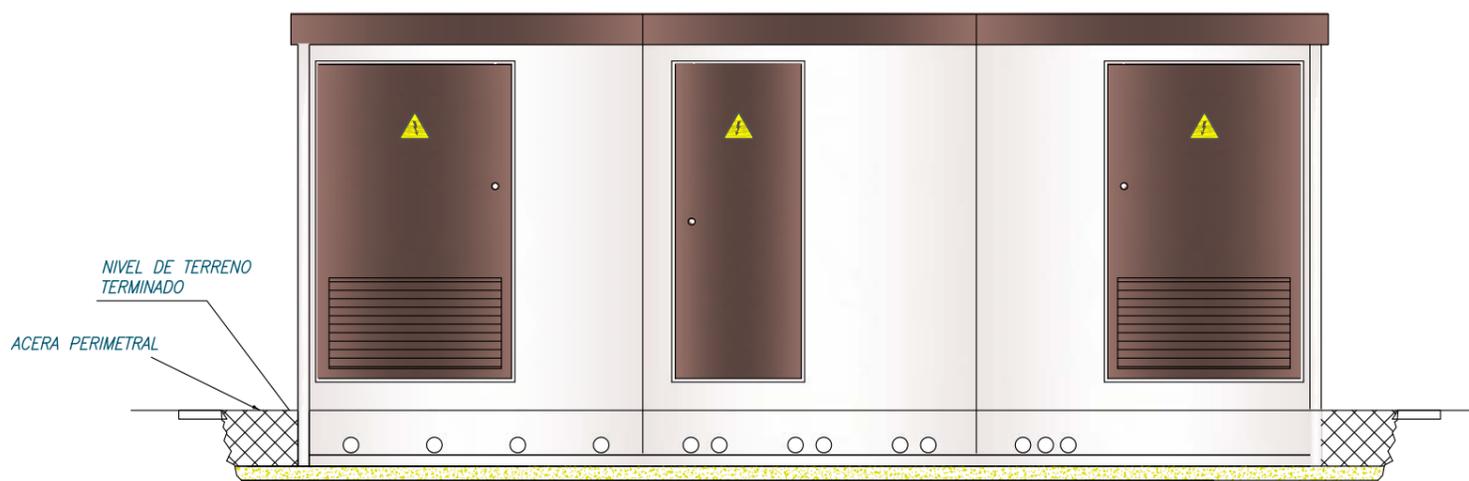
PROYECTO		Análisis de causas y soluciones para el disparo intempestivo de las protecciones de grupos electrógenos	
Hoja 1 de 1	PLANO	Plano de Emplazamiento	
ESCALA	1:10000	 UNIVERSITAT JAUME I	El autor del proyecto:
FECHA	31/08/16		Eduardo Aguilar Rodríguez
Nº	02		



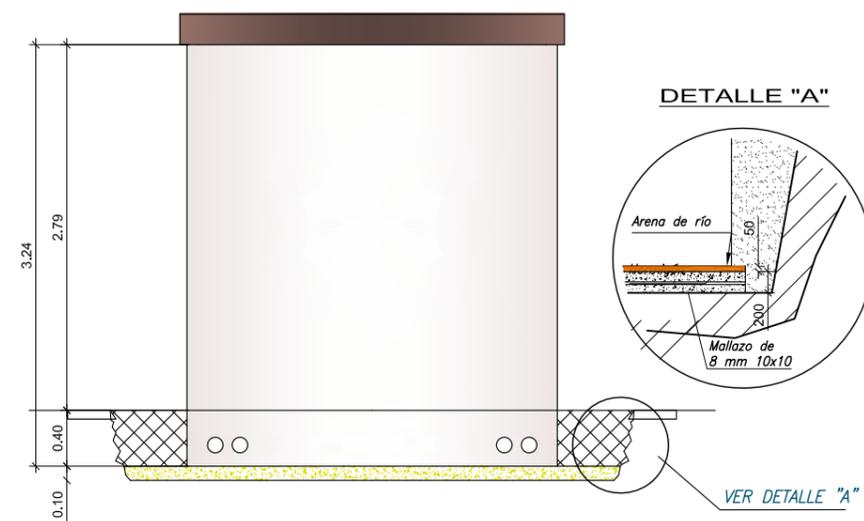
LEYENDA	
	Línea subterránea de MT alimentada con grupo electrógeno
	Línea subterránea de MT alimentada por la red eléctrica
	Punto de aislamiento de la zona de ensayo

PROYECTO		Análisis de causas y soluciones para el disparo intempestivo de las protecciones de grupos electrógenos	
Hoja 1 de 1	PLANO	Esquema Unifilar del Ensayo	
ESCALA		 UNIVERSITAT JAUME I	El autor del proyecto:
FECHA	31/08/16		Eduardo Aguilar Rodríguez
Nº	03		

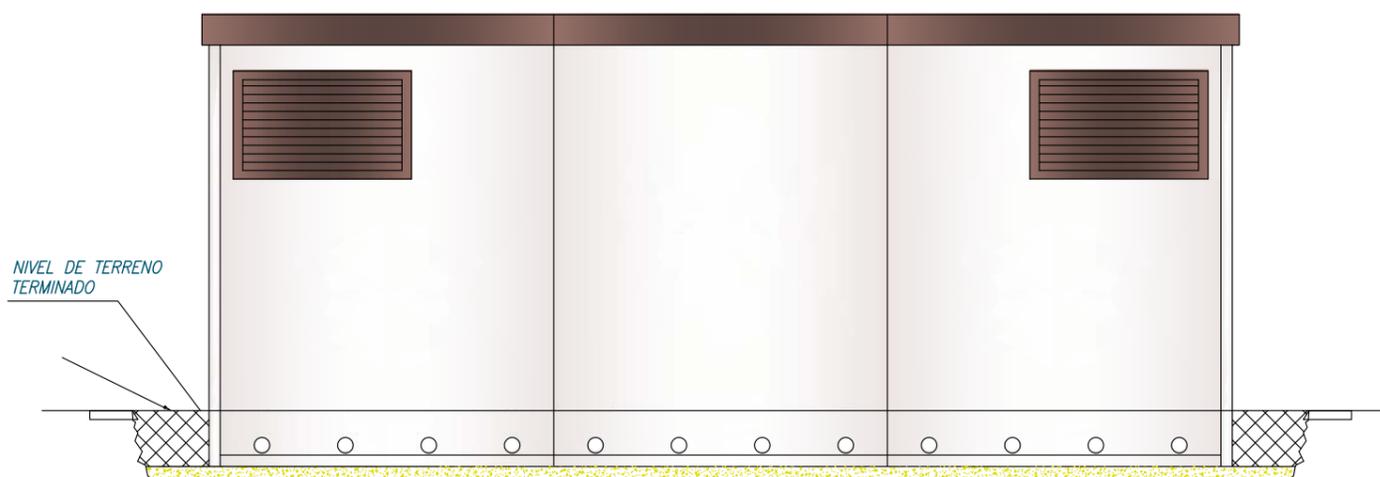
- ALZADO -



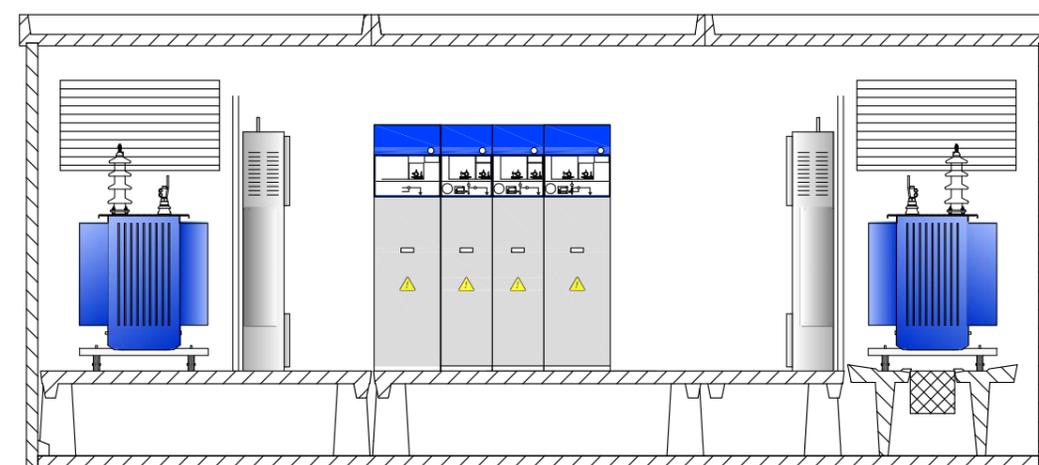
- PERFIL -



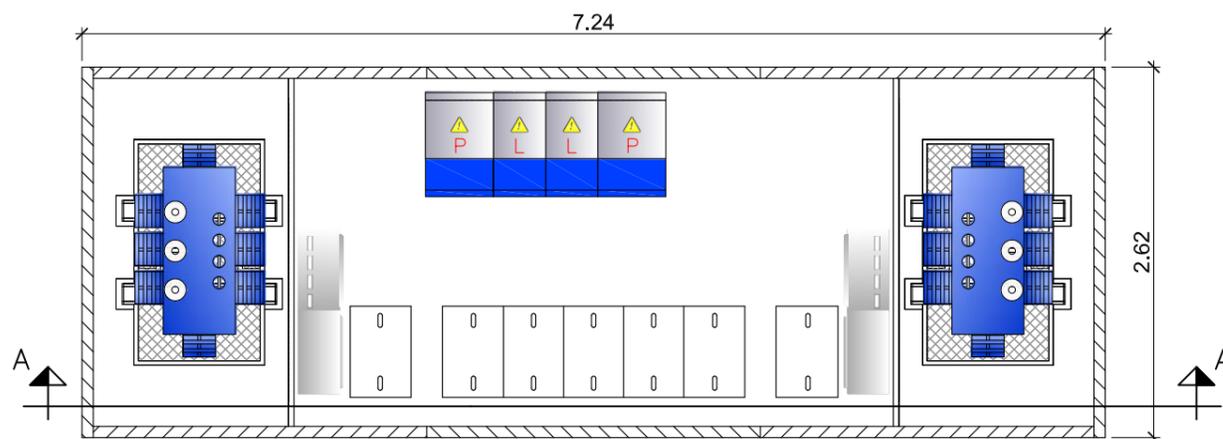
- ALZADO POSTERIOR -



- SECCION AA -



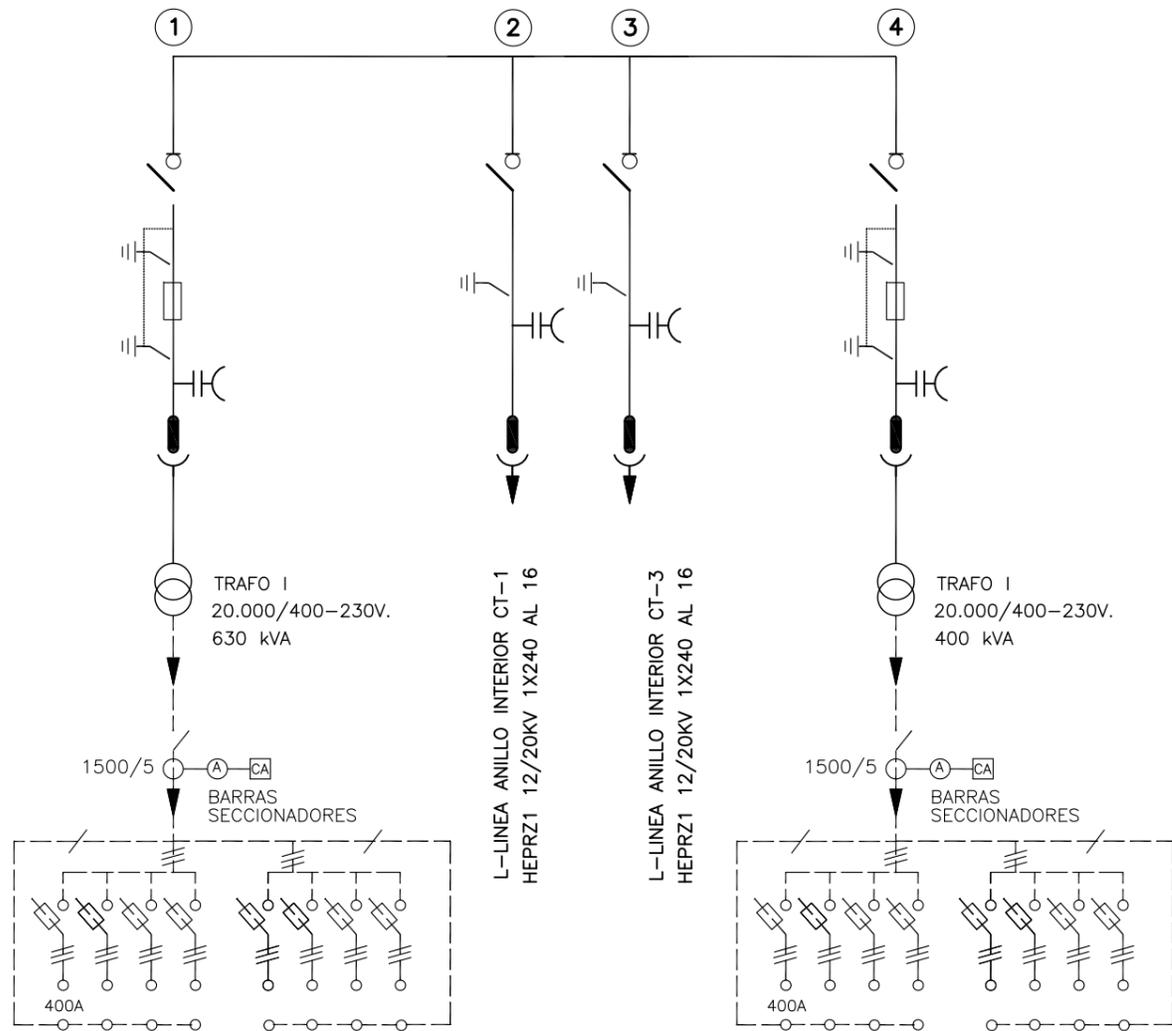
- PLANTA -



DIMENSIONES DE LA EXCAVACION
8.08 m. ancho x 3.42 m. fondo x 0.50 m. profund.

PROYECTO		Análisis de causas y soluciones para el disparo intempestivo de las protecciones de grupos electrógenos	
Hoja 1 de 1	PLANO	Centro de transformación BN CT-7 - Obra civil y apartamentada -	
ESCALA	1:50	 UNIVERSITAT JAUME I	El autor del proyecto:
FECHA	31/08/16		Eduardo Aguilar Rodríguez
Nº	04		

- ESQUEMA UNIFILAR -



- 1.- CELDA FUNCIÓN PROTECCION TRANSFORMADOR CON FUSIBLE
- 2.- CELDA FUNCIÓN DE LÍNEA
- 3.- CELDA FUNCIÓN DE LÍNEA

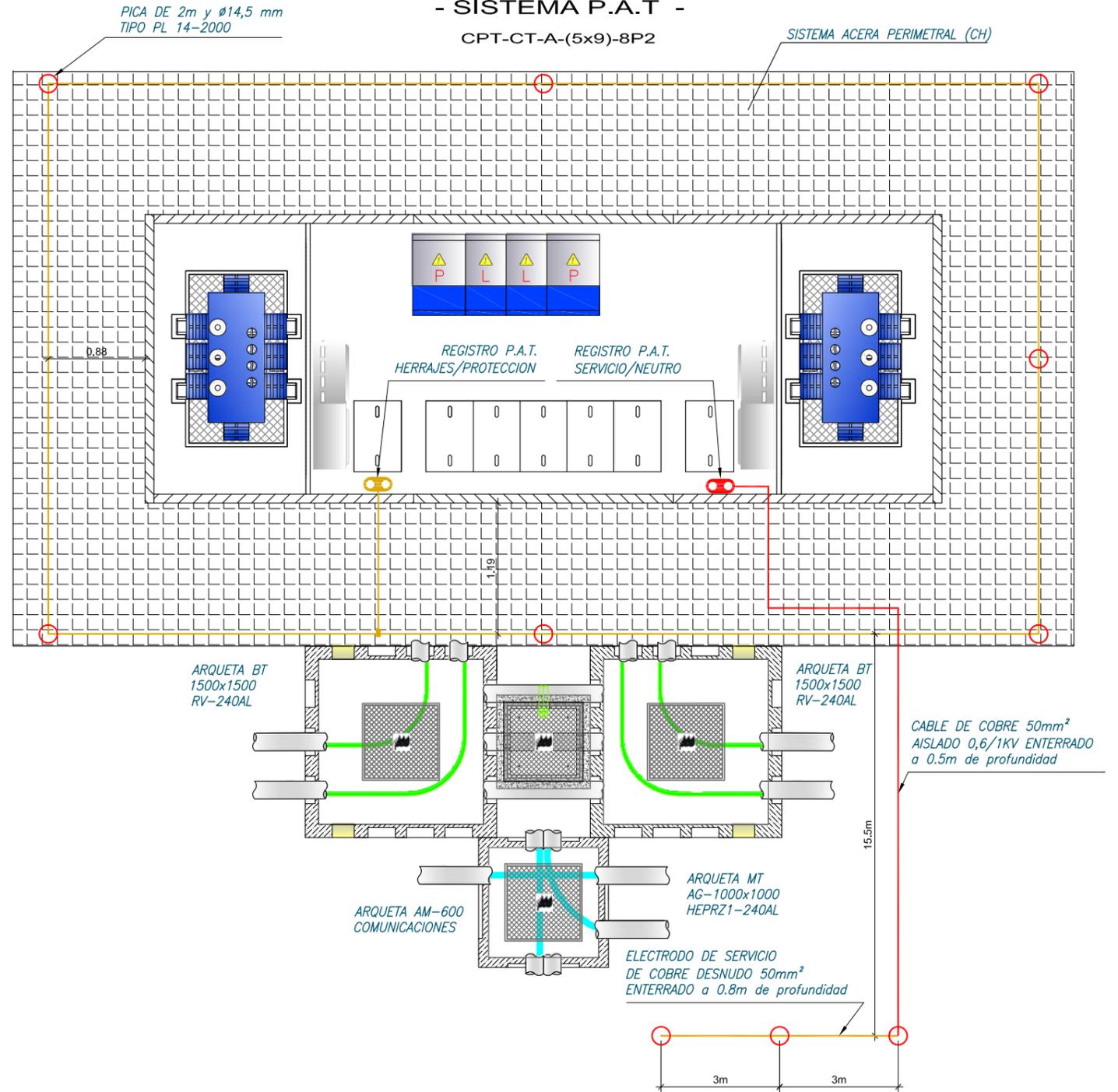
- 1.- CELDA FUNCIÓN PROTECCION TRANSFORMADOR CON FUSIBLE
- 2.- CELDA FUNCIÓN DE LÍNEA
- 3.- CELDA FUNCIÓN DE LÍNEA

FUSIBLES PROTECCION M.T.	
POTENCIA TRANSFORMADOR (kVA)	CALIBRE FUSIBLE (A)
≥400	40
630 A 1000	63

- SISTEMA P.A.T -

CPT-CT-A-(5x9)-8P2

SISTEMA ACERA PERIMETRAL (CH)



PROYECTO		Análisis de causas y soluciones para el disparo intempestivo de las protecciones de grupos electrógenos
Hoja 1 de 1	PLANO	Centro de transformación BN CT-7 - Esquema unifilar y sistema P.A.T -
ESCALA	1:50	 UNIVERSITAT JAUME I
FECHA	31/08/16	
Nº	05	
		El autor del proyecto: Eduardo Aguilar Rodríguez

4. PLIEGO DE CONDICIONES

.

4.1. OBJETO

Este Pliego de Condiciones Técnicas Particulares, forma parte de la documentación del proyecto de referencia que determina las condiciones mínimas aceptables para realizar la Instalación de un Grupo Electrónico de Emergencia.

En cualquier caso, dichas normas particulares no podrán establecer criterios técnicos contrarios a la normativa vigente contemplada en el presente proyecto, ni exigir marcas comerciales concretas, ni establecer especificaciones técnicas que favorezcan la implantación de un solo fabricante o representen un coste económico desproporcionado para el usuario.

4.2. CAMPO DE APLICACIÓN

Este Pliego de Condiciones Técnicas Particulares se refiere al suministro, instalación, pruebas, ensayos, mantenimiento, características y calidades de los materiales necesarios en el montaje e instalación de un Grupo Electrónico de Emergencia, con el fin de garantizar la seguridad de las personas, el bienestar social y la protección del medio ambiente, siendo necesario que dichas instalaciones eléctricas se proyecten, construyan, mantengan y conserven de tal forma que se satisfagan los fines básicos de la funcionalidad, es decir de la utilización o adecuación al uso, y de la seguridad, concepto que incluye la seguridad estructural, la seguridad en caso de incendio y la seguridad de utilización, de tal forma que el uso normal de la instalación no suponga ningún riesgo de accidente para las personas y cumpla la finalidad para la cual es diseñada y construida.

4.3. CARACTERÍSTICAS Y CALIDAD DE EQUIPOS Y MATERIALES

4.3.1. Definición y clasificación de las instalaciones eléctricas

Según Art. 3 del Decreto 141/2009, se define como “instalación eléctrica” todo conjunto de aparatos y de circuitos asociados destinados a la producción, conversión, transformación, transmisión, distribución o utilización de la energía eléctrica.

Asimismo y según Art. 3 del Decreto 141/2009 éstas se agrupan y clasifican en:

Instalación de baja tensión: es aquella instalación eléctrica cuya tensión nominal se encuentra por debajo de 1 kV ($U < 1$ kV).

Instalación de media tensión: es aquella instalación eléctrica cuya tensión nominal es superior o igual a 1 kV e inferior a 66 kV ($1 \text{ kV} \leq U < 66 \text{ kV}$).

Instalación de alta tensión: es aquella instalación eléctrica cuya tensión nominal es igual o superior a 66 kV ($U \geq 66 \text{ kV}$).

4.3.2. Grupo electrógeno

Se seguirá lo dispuesto en las ITC-BT-28 e ITC-BT-40. Así como CTE DB SU-5.

El Grupo Electrógeno tendrá las características que se indican en los documentos del presente proyecto, siendo éstas, al menos, las siguientes:

Tipo de suministro: (Monofásico, Trifásico con N, Trifásico)

Servicio: (Aislado, Asistido)

Tensión: V

Frecuencia: Hz

Potencia: KVA

CARACTERÍSTICAS Y CALIDAD DE EQUIPOS Y MATERIALES

Autonomía: (tiempo)

Tipo de régimen de neutro:(TT, IT, otros)

Asimismo el Grupo Electrógeno podrá estar integrado por los siguientes componentes y características:

Motor: Marca, modelo, Tipo de combustible, Sistema de refrigeración, Sistema de escape, Sistema de lubricación y Sistema de arranque.

Generador: Marca, modelo, Potencia, Velocidad, Frecuencia, Tensión, Aislamiento. (Clase), Reactancia subtransitoria directa (X''_d), Relación de cortocircuito.

Conjunto Motor-Alternador: Consumo de combustible (100 % carga), Dimensiones y Peso (máximo con depósitos llenos).

Depósito de combustible: Dimensiones y Ubicación.

Automatismo: En su caso, descripción del automatismo con indicación de los umbrales y tiempos, así como indicación de las señales necesarias para su correcto funcionamiento.

Sistemas auxiliares: Cargador de baterías (tanto para el arranque del motor como para el mantenimiento y vigilancia de la red) y Sistemas de alarma y protecciones del grupo.

Cuadro eléctrico: Con sus correspondientes protecciones de salida del generador.

En la conmutación en Baja Tensión del grupo eléctrico, se dispondrán los correspondientes enclavamientos reglamentarios, para evitar posibles retornos de corriente a la red de la Empresa Suministradora, tal como se indica en la Orden de 19 de agosto de 1997, por la que se aprueba la Norma Particular para Centros de Transformación de hasta 30 kV.

Los locales donde se ubiquen estos equipos deberán cumplir con lo establecido en la ITC-BT-30.

4.3.3. Cuadro de automatismo del grupo electrógeno

4.3.3.1. Construcción

Estará construido con chapas plegadas de acero y perfiles laminados en frío de 2 mm de espesor mínimo, no presentando rugosidades ni defectos que pudieran alterar la estética de los mismos.

La carpintería metálica se desengrasará, se tratará con tres manos de pintura antioxidante y se pintará al fuego. Su grado de estanqueidad será IP-54.

Señalización será para observar que el grupo funciona, paro, alarmas y que el grupo falla.

Se podrá seleccionar el funcionamiento del Grupo en manual, automático o que el Grupo quede fuera de servicio para poder efectuar reparaciones en el mismo. En funcionamiento manual se podrá arrancar y parar.

Con el sistema de alarmas del Grupo pasará automáticamente con señalización óptica y acústica, y una vez reparada la avería señalada por la alarma, borrar la misma.

El cargador de baterías cargará las mismas en carga lenta o rápida según se seleccione.

4.3.3.2. Disposición de los aparatos

La distribución de los aparatos dentro del Cuadro será la adecuada para una fácil reparación o revisión.

En el frente del Cuadro habrá un esquema sinóptico con barras de aluminio anodizado y letreros identificadores grabados en placas de plástico.

4.3.3.3. Juego de barras

Serán de cobre electrolítico, de dimensiones normalizadas, totalmente estañadas y pintadas con esmalte sintético en los colores señalados en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

El calibre será el adecuado a las intensidades nominales y de cortocircuito y con un mínimo de 2,5 A/mm².

La sustentación de los juegos de barras se hará mediante portabarras de 1.000 Voltios de aislamiento, estando calculado el conjunto para resistir los esfuerzos dinámicos de cortocircuito a los que pueden ser sometidos.

Toda la tornillería a emplear, tanto en empalmes como en derivaciones, será de latón, con rosca normal, doble tuerca y arandela del mismo material y arandela grower en cada conjunto.

4.3.3.4. Cableado y conexionado

Cuando la carga sea inferior en un 40% de la intensidad admisible por las pletinas más pequeñas de fabricación normalizada, se utilizarán conductores de cobre con doble aislamiento PVC, con terminales de presión montados en sus extremos. La sección mínima de los conductores será de 2,5 mm² y se instalarán en bandejas plásticas.

Las conexiones para telemandos, control, señalización y medida, se harán debidamente cableadas, utilizando conductores de un mismo color para cada uno de los servicios anteriormente indicados, facilitando de esta forma su identificación.

Los circuitos de salida, tanto de potencia como de mando o señalización, llevarán bornas de conexión, situadas en la parte inferior o superior del Cuadro, con número de identidad.

4.3.3.5. Conductores

Estarán constituidos por cable de cobre electrolítico de formación flexible para todas las secciones, de aislamiento nominal 1.000 V y tensión de prueba de 4.000 V.

Dispondrán de dos capas de aislamiento, una directamente sobre el conductor de polietileno, y otra exterior de policloruro de vinilo.

Para su identificación se seguirá el siguiente código de colores:

- Neutro: Azul claro
- Fases: Negro, gris y marrón
- Tierra: Amarillo-verde

Todas las tiradas serán enteras, no admitiéndose ningún tipo de empalme.

El radio mínimo de curvatura será diez veces el diámetro del cable.

La cubierta exterior llevará grabada la marca, tipo, tensión de servicio, sección e identificación.

4.4. CONDICIONES DE EJECUCIÓN Y MONTAJE

4.4.1. Condiciones generales

Las instalación de Grupos Electrógenos será ejecutada por instaladores eléctricos autorizados, para el ejercicio de esta actividad, y deberán realizarse conforme a lo que establece el presente Pliego de Condiciones Técnicas Particulares y a la reglamentación vigente, cumpliéndose además, todas las disposiciones legales que sean de aplicación en materia de seguridad y salud en el trabajo.

Como regla general, todas las obras se ejecutarán con materiales de calidad reconocida y cualquier modificación en cuanto a formas, sistemas de protección, puesta a tierra, medidas, número de aparatos, calidad, etc., sólo podrá realizarse previa autorización por escrito de la Dirección Facultativa de la obra.

CONDICIONES DE EJECUCIÓN Y MONTAJE

Se comprobará que todos los elementos y componentes de la instalación del Grupo Electrónico coinciden con su desarrollo en el proyecto, y en caso contrario se redefinirá en presencia de la Dirección Facultativa.

El montaje será realizado de acuerdo con los planos de instalación no admitiéndose variaciones en medidas, número de aparatos o calidad de los mismos sin una previa justificación por parte del Contratista y la aprobación de la Dirección Facultativa de la obra.

La Dirección Facultativa rechazará todas aquellas partes del montaje que no cumplan los requisitos para ellas exigidas, obligándose la empresa instaladora autorizada o Contratista a sustituirlas a su cargo.

Antes de la instalación, el Contratista presentará a la Dirección Facultativa los catálogos, muestras, etc., que se precisen para la recepción de los distintos materiales. No se podrán emplear materiales sin que previamente hayan sido aceptados por ésta.

Se realizarán cuantos análisis y pruebas se ordenen por la Dirección Facultativa de la obra aunque no estén indicadas en este Pliego, los cuales se ejecutarán en los laboratorios que elija la Dirección, siendo los gastos ocasionados por cuenta de la Contrata.

Este control previo no constituye recepción definitiva, pudiendo ser rechazados por la Dirección Facultativa de la obra, aún después de colocado, si no cumplierse con las condiciones exigidas en este Pliego de Condiciones, debiendo ser reemplazados por la contrata por otros que cumplan con las calidades exigidas.

Se cumplirán siempre todas las disposiciones legales que sean de aplicación en materia de seguridad y salud en el trabajo.

4.4.2. Depósito de materiales

El acopio de materiales se hará de forma que estos no sufran alteración durante su depósito en la obra, debiendo retirar y reemplazar todos los que hubieran sufrido alguna descomposición o defecto durante su estancia, manipulación o colocación en la obra.

Será obligación del Contratista, la ejecución de las obras de recogida de aparatos mecánicos, etc. y obras complementarias de las consignadas en el presupuesto, así como las necesarias para la debida terminación de todas las instalaciones, cuya liquidación se hará en la forma que se detalla en el capítulo correspondiente.

4.4.3. Grupo electrógeno

4.4.3.1. Montaje

El Grupo se situará en su ubicación, una vez desembalado, mediante una grúa, evitando así los deslizamientos bruscos en su colocación.

El Grupo irá situado en el interior de una cabina insonorizada, para intemperie, que se colocará sobre un entramado apoyado sobre el recocado de cuatro pilares. Este entramado se dimensionará para:

- Soportar las cargas solicitadas
- La absorción de las vibraciones

Para el dimensionado de éstas se ha tenido en cuenta las siguientes circunstancias:

- Peso del equipo a soportar
- Estabilidad de la superficie de apoyo de las cargas estáticas y dinámicas.
- Esfuerzos dinámicos (continuos e intermitentes)
- Aislamiento de vibraciones
- Resistencia mecánica

El montaje del Grupo sobre este entramado se realizará mediante soportes elásticos antivibratorios, para mejorar el aislamiento de las vibraciones.

El Grupo, una vez situado sobre el entramado, se deberá nivelar de tal manera que los errores o diferencias con respecto a los ejes de los alternadores o volantes de acople, no excedan de 0,003 mm. de alineación y nivelación, con lo que se conseguirá un acoplamiento perfecto y un óptimo rendimiento de las máquinas.

Todos los conductos de salida del Grupo se acoplarán a éste mediante conexiones flexibles, con objeto de que no sean transmitidas a las canalizaciones de salida las vibraciones de aquéllas.

Para la puesta a punto del Grupo Electrógeno se tendrá en cuenta todas las normas que indiquen el fabricante de éste, así como su mantenimiento.

4.4.3.2. Refrigeración

Se realizará mediante tomas acústicas de entrada y salida de aire, dispuestas en la propia cabina, de dimensiones apropiadas para tener los caudales calculados, y los acoples con la entrada y salida de los gases de ventilación serán elásticos, de forma que amortigüen las vibraciones.

4.4.3.3. Escape

Estará constituido en silenciador de gases de escape que desembocará en una tubería de acero inoxidable AISI 304 prefabricada con una protección final dispuesta en la parte superior de la cabina, forrado con una manta de fibra de vidrio y protegido con una envolvente de chapa de aluminio.

Las conexiones o acoples serán con tubos flexibles para evitar la transmisión de vibraciones a los conductos de salida.

Su conducto de salida de los gases de combustión evacuarán directamente al exterior.

4.4.3.4. Ruidos

Se adoptarán las medidas oportunas en cuanto al aislamiento acústico para la atenuación del ruido generado por el Grupo mediante empleo de silenciadores, a los efectos de cumplimiento del DB-HR “Documento Básico de protección frente al ruido” del Código

Técnico de la Edificación (CTE), así como en cumplimiento del Decreto 2414/1961, de 30 de noviembre por el que se aprueba el Reglamento de Actividades Molestas, Nocivas, Insalubres y Peligrosas.

4.4.3.5. Depósito de combustible

El depósito de combustible será suministrado por el fabricante con el Grupo Electrónico, e instalado en la bancada del mismo, y cumplirá la Norma UNE que le sea de aplicación.

4.4.3.6. Protección eléctrica del grupo electrónico

La protección eléctrica del grupo electrónico, se ejecutará en origen mediante un interruptor magnetotérmico general, de intensidad nominal correspondiente a la carga del grupo, teniendo en cuenta la selectividad de todos los elementos que componen la instalación conectada al mismo, no siendo nunca superior a la potencia nominal del grupo. Se conectará toma de tierra al armazón del grupo y cuadro de mando. El neutro del grupo se efectuará con tierra independiente de la de masas, a una distancia superior a 20 metros y mediante cable eléctrico aislado de 0'6/1 KV.

4.4.3.7. Enclavamiento

El grupo electrónico contará con un sistema de conmutación para todos los conductores activos y el neutro que impida el acoplamiento simultáneo con la red eléctrica, según la ITC-BT-40 del REBT.

4.4.3.8. Ventilación

El sistema de ventilación se dimensiona teniendo en cuenta los caudales necesarios para disipar el calor del radiador, del motor y a los efectos de proporcionar el aire necesario para la combustión.

4.4.3.9. Iluminación y otras medidas correctoras

Dispondrá del correspondiente sistema de iluminación cuando el Grupo se instala en una sala o local acondicionado a tal efecto, así como de otras medidas correctoras de protección contra incendios, elementos y dispositivos de protección mecánica, existencia de los esquemas y manuales de funcionamiento del Grupo e instrucciones para el mantenimiento y uso del mismo, a disposición en el mencionado local.

4.5. RECONOCIMIENTOS, PRUEBAS Y ENSAYOS

4.5.1. Reconocimiento de las obras

Previamente al reconocimiento de la instalación del Grupo Electrónico y obras necesarias, el Contratista habrá retirado todos los materiales sobrantes, restos, embalajes, etc., hasta dejarlas completamente limpias y despejadas.

En este reconocimiento se comprobará que todos los materiales instalados coinciden con los admitidos por la Dirección Facultativa en el control previo efectuado antes de su instalación y que corresponden exactamente a las muestras que tenga en su poder, si las hubiera y, finalmente comprobará que no sufren deterioro alguno ni en su aspecto ni en su funcionamiento.

Análogamente se comprobará que la realización del montaje del Grupo Electrónico ha sido llevado a cabo y terminadas, rematadas correcta y completamente.

En particular, se resalta la comprobación y la verificación de los siguientes puntos:

RECONOCIMIENTOS, PRUEBAS Y ENSAYOS

- Ejecución de los terminales, empalmes, derivaciones y conexiones en general.
- Fijación de los distintos aparatos, seccionadores, interruptores y otros colocados.
- Situación del Grupo sobre bancada y montaje de los elementos elásticos de atenuación de vibraciones.
- Medida del ruido generado por el Grupo.
- Tipo, tensión nominal, intensidad nominal, características y funcionamiento de los aparatos de maniobra y protección.

4.5.2. Pruebas y ensayos

Después de efectuado el reconocimiento, se procederá a realizar las pruebas y ensayos que se indican a continuación:

- Protecciones contra sobretensiones y cortocircuitos: se comprobará que la intensidad nominal de los diversos interruptores automáticos sea igual o inferior al valor de la intensidad máxima del servicio del conductor protegido.
- Empalmes: se comprobará que las conexiones de los conductores son seguras y que los contactos no se calientan normalmente.
- Equilibrio entre fases: se medirán las intensidades en cada una de las fases, debiendo existir el máximo equilibrio posible entre ellas.
- La comprobación del nivel medio de ruido.
- Medición de los niveles de aislamiento de la instalación de puesta a tierra con un óhmetro previamente calibrado, verificando, la Dirección Facultativa, que están dentro de los límites admitidos.

Antes de proceder a la recepción definitiva de la instalación, se realizará nuevamente un reconocimiento de las mismas, con objeto de comprobar el cumplimiento de lo establecido sobre la conservación y reparación de las obras.

4.6. CONDICIONES DE MANTENIMIENTO Y USO

Las actuaciones de mantenimiento sobre las instalaciones eléctricas de Generación son independientes de las inspecciones periódicas que preceptivamente se tengan que realizar.

El titular o la Propiedad de la instalación eléctrica no están autorizados a realizar operaciones de modificación, reparación o mantenimiento. Estas actuaciones deberán ser ejecutadas siempre por una empresa instaladora autorizada.

Durante la vida útil de la instalación, los propietarios y usuarios de las instalaciones eléctricas de generación, transporte, distribución, conexión, enlace y receptoras, deberán mantener permanentemente en buen estado de seguridad y funcionamiento sus instalaciones eléctricas, utilizándolas de acuerdo con sus características funcionales.

Los contratos de mantenimiento se formalizarán por períodos anuales, prorrogables por acuerdo de las partes, y en su defecto de manera tácita. Dicho documento consignará los datos identificativos de la instalación afectada, en especial su titular, características eléctricas nominales, localización, descripción de la edificación y todas aquellas otras características especiales dignas de mención.

No obstante, cuando el titular acredite que dispone de medios técnicos y humanos suficientes para efectuar el correcto mantenimiento de sus instalaciones, podrá adquirir la condición de mantenedor de las mismas. En este supuesto, el cumplimiento de la exigencia reglamentaria de mantenimiento quedará justificado mediante la presentación de un Certificado de automantenimiento que identifique al responsable del mismo. No se permitirá la subcontratación del mantenimiento a través de una tercera empresa intermediaria.

CONDICIONES DE MANTENIMIENTO Y USO

Para aquellas instalaciones nuevas o reformadas, será preceptiva la aportación del contrato de mantenimiento o el certificado de automantenimiento junto a la solicitud de puesta en servicio.

Las empresas distribuidoras, transportistas y de generación en régimen ordinario quedan exentas de presentar contratos o certificados de automantenimiento.

Las empresas instaladoras autorizadas deberán comunicar al Centro Directivo competente en materia de energía las altas y bajas de contratos de mantenimiento a su cargo, en el plazo de un mes desde su suscripción o rescisión.

Las comprobaciones y chequeos a realizar por los responsables del mantenimiento se efectuarán con la periodicidad acordada, atendiendo al tipo de instalación, su nivel de riesgo y el entorno ambiental, todo ello sin perjuicio de las otras actuaciones que proceda realizar para corrección de anomalías o por exigencia de la reglamentación. Los detalles de las averías o defectos detectados, identificación de los trabajos efectuados, lista de piezas o dispositivos reparados o sustituidos y el resultado de las verificaciones correspondientes deberán quedar registrados en soporte auditable por la Administración.

Las empresas distribuidoras, las transportistas y las de generación en régimen ordinario están obligadas a comunicar al órgano competente en materia de energía la relación de instalaciones sujetas a mantenimiento externo, así como las empresas encargadas del mismo.

Para dicho mantenimiento se tomarán las medidas oportunas para garantizar la seguridad del personal.

Las actuaciones de mantenimiento sobre las instalaciones eléctricas son independientes de las inspecciones periódicas que preceptivamente se tengan que realizar.

Para tener derecho a financiación pública, a través de las ayudas o incentivos dirigidos a mejoras energéticas o productivas de instalaciones o industrias, la persona física o jurídica beneficiaria deberá justificar que se ha realizado la inspección técnica periódica correspondiente de sus instalaciones, conforme a las condiciones que reglamentariamente estén establecidas.

4.6.1. Conservación

Se realizarán operaciones de mantenimiento de todos los equipos instalados y de los sistemas de control y regulación.

Será responsabilidad de la empresa mantenedora el suministro de los productos, material y herramientas necesarias para el mantenimiento. Asimismo será responsable del tratamiento de los residuos que se generen y de su traslado a vertedero autorizado o entrega a gestor autorizado.

Se realizará una limpieza anual de las salas del grupo electrógeno y pintado de las zonas oxidadas y deterioradas.

Se procederá a la limpieza de los filtros o sustitución en los grupos electrógenos de: aire, aceite, combustible y agua.

Mantenimiento de los niveles de aceite, combustible y agua.

Para el almacenamiento del combustible, se cumplirá la normativa vigente para las instalaciones del almacenamiento y distribución del mismo

Para el mantenimiento de los grupos electrógenos se realizaran las siguientes operaciones, con carácter trimestral:

En el motor:

Se realizara la verificación de los niveles, estados y pérdidas. Las operaciones serán las siguientes:

- Nivel de aceite. - Pérdidas de aceite.
- Nivel de agua. - Pérdidas de agua.
- Correa del ventilador. - Pérdidas de combustible.
- Correa del alternador.
- Batería: bornes y carga
- Filtro de aceite. - Intensidad de carga de la batería.
- Filtro del aire. - Motor de arranque.
- Ventilación. - Indicador de presión de refrigerante.
- Silemblocs. - Indicador de carga.

- Tubo de escape. - Resistencias de carter.

En el generador:

Se comprobará el estado de:

- Placas de los bornes. - Rodamientos.
- Regulador eléctrico. - Acoplamiento.
- Colector. - Ventilación.
- Escobillas.
- Aislamiento eléctrico.
- Escobillas y aros, ajuste y limpieza.

En el equipo eléctrico sin tensión:

Se realizará la verificación de los siguientes elementos:

- Aparatos de medida. - Contactores.
- Pilotos. - Relés auxiliares.
- Mandos del panel. - Apriete de bornes.
- Interruptor general. - Cableado.
- Resistencias de caldeo. - Termostato de las resistencias.

4.6.2. Reparación. Reposición

Siempre que se revisen las instalaciones, se repararán los defectos encontrados y, en el caso que sea necesario, se repondrán las piezas que lo precisen.

4.7. INSPECCIONES PERIÓDICAS

Las inspecciones periódicas sobre las instalaciones eléctricas de Generación son independientes de las actuaciones de mantenimiento que preceptivamente se tengan que realizar.

Los grupos electrógenos no precisan de inspecciones periódicas.

5. PRESUPUESTO

.

5.1. JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS

Nº	Ud	Descripción			Total
Presupuesto parcial nº1: SEGURIDAD Y SALUD					
1.1	ud	Gafas antipolvo antiempañables, panorámicas, (amortizables en 3 usos). Certificado CE. s/R.D. 773/97			
		0,333 ud	Gafas antipolvo	1,25	0,42
		3,000%	Costes indirectos	0,42	0,01
			Precio total por ud		0,43
					Son cuarenta y tres céntimos
1.2	ud	Chaleco de obras reflectante. Amortizable en 5 usos. Certificado CE. s/R.D. 773/97.			
		0,200 ud	Chaleco de obras reflectante	17,26	3,45
		3,000%	Costes indirectos	3,45	0,10
			Precio total por ud		3,55
					Son tres euros con cincuenta y cinco céntimos
1.3	ud	Casco de seguridad con arnés de adaptación, homologado. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.			
		1,000 ud	Casco seguridad homologado	2,00	2,00
		3,000%	Costes indirectos	2,00	0,06
			Precio total por ud		2,06
					Son dos euros con seis céntimos
1.4	ud	Mono de trabajo de una pieza de poliéster-algodón. Amortizable en un uso. Certificado CE; s/ R.D. 773/97.			
		1,000 ud	Mono de trabajo	11,00	11,00
		3,000%	Costes indirectos	11,00	0,33
			Precio total por ud		11,33
					Son once euros con treinta y tres céntimos
1.5	ud	Par de guantes aislantes para protección de contacto eléctrico en tensión hasta 5.000 V., (amortizables en 3 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.			
		0,333 ud	Par guantes aislam. 5000 V	27,81	9,26
		3,000%	Costes indirectos	9,26	0,28
			Precio total por ud		9,54
					Son nueve con cincuenta y cuatro céntimos

JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS

Nº	Ud	Descripción			Total
1.6	ud	Par de guantes de neopreno. Certificado CE; s/ R.D. 773/97.			
		1,000 ud	Par guantes de neopreno	2,00	2,00
		3,000%	Costes indirectos	2,00	0,06
			Precio total por ud		2,06
					Son dos euros con seis céntimos
1.7	ud	Cinta de balizamiento bicolor rojo/blanco colocación y desmontaje.R.D. 485/97.			
		0,050 h	Peón ordinario	10,24	0,51
		1,100 m	Cinta balizamineto bicolor 8 cm	0,04	0,04
		3,000%	Costes indirectos	0,55	0,02
			Precio total por m		0,57
					Son cincuenta y siete céntimos
1.8	ud	Banderola de señalización colgante realizada de plástico de colores rojo y blanco, reflectante, i/soporte metálico de 1.20 m. (amortizable en tres usos), colocación y desmontaje. s/ R.D. 485/97.			
		0,050 h	Peón ordinario	10,24	0,51
		1,100 m	Banderola señalización reflect	0,33	0,36
		0,333 ud	Poste galva 80x42x2 de 2 m	11,04	3,68
		3,000%	Costes indirectos	4,55	0,14
			Precio total por m		4,69
					Son cuatro euros con sesenta y nueve céntimos
1.9	ud	Placa señalización-información en PVC serigrafiado de 50x30 cm., fijada mecánicamente, amortizable en 3 usos, incluso colocación y desmontaje. s/ R.D. 485/97.			
		0,150 h	Peón ordinario	10,24	1,54
		0,333 ud	Placa informativa PVC 50x30	5,20	1,73
		3,000%	Costes indirectos	3,27	0,10
			Precio total por ud		3,37
					Son tres euros con treinta y siete céntimos

JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS

Nº	Ud	Descripción			Total
Presupuesto parcial nº2: MAQUINARIA Y MEDIOS AUXILIARES					
2.1	ud	Prueba completa del ensayo experimental comprendiendo la conexión del grupo electrógeno y aparatos de medida.			
		8,000 h Grupo electrógeno 1000 KVAs	70,00		560,00
		8,000 h Grupo electrógeno 3.3 KVAs	30,00		240,00
		8,000 h Encargado	10,98		87,84
		8,000 h Oficial 1ª Electricista	11,44		91,52
		8,000 h Oficial 2ª Electricista	11,15		89,20
		8,000 h Ingeniero eléctrico	14,00		112,00
		3,000% Costes indirectos	1.180,56		35,42
				Precio total por ud	1.215,98
				Son mil doscientos quince con noventa y ocho céntimos	

Presupuesto parcial nº3: INGENIERÍA

3.1	ud	Elaboración del proyecto en el que comprende el análisis de las causas y soluciones para el disparo de las protecciones de grupos electrógenos y su redacción.			
		500,000 h Ingeniero eléctrico	14,00		7.000,00
		3,000% Costes indirectos	7.000,00		210,00
				Precio total por ud	7.210,00
				Son siete mil doscientos diez euros	

5.2. PRESUPUESTO PARCIAL

Presupuesto parcial n°1 SEGURIDAD Y SALUD

N°	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
1.1	Ud	Gafas antipolvo antiempañables, panorámicas, (amortizables en 3 usos). Certificado CE. s/ R.D. 773/97.			
		Total ud	6,000	0,43	2,58
1.2	Ud	Chaleco de obras reflectante. Amortizable en 5 usos. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.			
		Total ud	6,000	3,55	21,30
1.3	Ud	Casco de seguridad con arnés de adaptación, homologado. Certificado CE. s/ R.D. 773/97.			
		Total ud	6,000	2,06	12,36
1.4	Ud	Mono de trabajo de una pieza de poliéster-algodón. Amortizable en un uso. Certificado CE; s/ R.D. 773/97.			
		Total ud	6,000	11,33	67,98
1.5	Ud	Par de guantes aislantes para protección de contacto eléctrico en tensión hasta 5.000 V., (amortizables en 3 usos). Certificado CE; s/ R.D. 773/97.			
		Total ud	6,000	9,54	57,24
1.6	Ud	Par de guantes de neopreno. Certificado CE; s/ R.D. 773/97.			
		Total ud	6,000	2,06	12,36
1.7	M	Cinta de balizamiento bicolor rojo/blanco de material plástico, incluso colocación y desmontaje.R.D. 485/97.			
		Total m	8,000	0,57	4,56

PRESUPUESTO PARCIAL

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
1.8	M	Banderola de señalización colgante realizada de plástico de colores rojo y blanco, reflectante, i/soporte metálico de 1.20 m. (amortizable en tres usos), colocación y desmontaje. s/ R.D. 485/97.			
		Total m	3,000	4,69	14,07
1.9	Ud	Placa señalización-información en PVC serigrafiado de 50x30 cm., fijada mecánicamente, amortizable en 3 usos, incluso colocación y desmontaje. s/ R.D. 485/97.			
		Total ud	3,000	3,37	10,11
Total presupuesto parcial n°1 SEGURIDAD Y SALUD :					202,56

Presupuesto parcial n°2 MAQUINARIA Y MEDIOS AUXILIARES

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
2.1	Ud	Prueba completa del ensayo experimental comprendiendo la conexión del grupo electrógeno y aparatos de medida.			
		Total ud	1,000	1.215,98	1.215,98
Total presupuesto parcial n°2 MAQUINARIA Y MEDIOS AUXILIARES :					1.215,98

Presupuesto parcial n°3 INGENIERÍA

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
3.1	Ud	Elaboración del proyecto en el que comprende el análisis de las causas y soluciones para el disparo de las protecciones de grupos electrógenos y su redacción.			
		Total ud	1,000	5.150,00	7.210,00
Total presupuesto parcial n°2 INGENIERÍA :					7.210,00

5.3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

Presupuesto de ejecución material

1 SEGURIDAD Y SALUD	202,56
2 MAQUINARIA Y MEDIOS AUXILIARES	1.215,98
3 INGENIERÍA	7.210,00
Total	8.628,54

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de OCHO MIL SEISCIENTOS VEINTIOCHO EUROS CON CINCUENTA Y CUATRO CÉNTIMOS.

5.4. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

Presupuesto de ejecución por contrata

	Importe
1 SEGURIDAD Y SALUD	202,56
2 MAQUINARIA Y MEDIOS AUXILIARES	1.215,98
3. INGENIERIA	7.210,00
Presupuesto de ejecución material	8.628,54
13 % de gastos generales	1.121,71
6% de beneficio industrial	517,71
Suma	10.267,96
21 % IVA	2.156,27
Presupuesto de ejecución por contrata	12.424,23

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de DOCE MIL CUATROCIENTOS VEINTICUATRO EUROS CON VEINTITRES CÉNTIMOS.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

.

ESTUDIO GENERADOR SÍNCRONO

- [1] Jesús Fraile Mora. “Máquinas eléctricas”. McGraw-Hill. 6a Edición. 2008
- [2] Gary Olson. “Impacto de las cargas de factores de potencia en servicio en los alternadores sincrónicos”. Información técnica de Cummins Power Generation.
- [3] “Máquina síncrona” Enlace web al documento:
https://www4.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/Apuntes_EyM/Capitulo_9_Maquina_Sincronica.pdf

COMPONENTES E INFORMACIÓN GRUPOS ELECTRÓGENOS

- [4] Terence Hazel. “Producción de energía eléctrica integrada en emplazamientos industriales y edificios comerciales” Cuaderno técnicoSchneider Electric nº196
- [5] “Manual de instrucciones QAC 1000 Dd” Atlas Copco. Edición 2005.
- [6] “Manual de uso del controlador de generadores Qc4001” Atlas Copco. Edición 2002.
- [7] Jim Iverson, “Cómo dimensionar un grupo electrógeno: La correcta selección del tamaño del grupo electrógeno requiere del análisis de parámetros y cargas” Información técnica de Cummins Power Generation Inc.

TRANSITORIOS DE CORRIENTE

- [7] “Principales Características de la Corriente Inrush en Transformadores” Enlace web al documento:
http://www.ceed.org.ar/wpcontent/uploads/2012/12/Oliveira_et_al_Paper_1.pdf
- [8] J. W. Nilsson. “Circuitos eléctricos”. Ed. Addison-Wesley Iberoamericana.
- [9] D. E. Johnson. “Análisis básico de circuitos eléctricos”. Ed. Prentice-Hall.

ANÁLISIS LÍNEAS SUBTERRÁNEAS DE MEDIA TENSIÓN

- [10] Antonio Fayos Álvarez. “Líneas eléctricas y transporte de energía eléctrica” Ed. UPV.
- [11] Enrique Ras. “Teoría de líneas eléctricas”. Ed. Marcombo.
- [12] Gilberto Enriquez Harper. “Fundamentos de instalaciones eléctricas mediana y alta tensión”. Ed. Limusa.

