

PLANTA DE
COGENERACIÓN
PARA EMPRESA DE
ADEREZO Y
MANUFACTURA DE
ACEITUNA DE MESA

PROYECTO DE INSTALACIÓN
ELÉCTRICA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES DE SEVILLA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA

AUTOR: ÍÑIGO REXACH BENAVIDES
TUTOR: JOSÉ LUIS MARTÍNEZ RAMOS

Marzo de 2002

PROYECTO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA

MEMORIA DESCRIPTIVA

1 SISTEMA ELÉCTRICO DE LA PLANTA DE COGENERACIÓN	1
2 SISTEMA DE GENERACIÓN	3
2.1 Grupo Motogenerador	3
2.1.1 Características del Grupo	4
2.1.2 Alcance de Suministro del Grupo	6
2.2 Cuadro de Potencia del Grupo Motogenerador	8
2.3 Cuadro de Control y Protección del Grupo Motogenerador	9
2.3.1 Equipo de Medida	9
2.3.2 Equipo de Protecciones	10
2.3.3 Equipo de Control	14
2.4 Caseta Prefabricada	15
3 CENTRO DE TRANSFORMACIÓN	16
3.1 Transformador Elevador	16
3.1.1 Características del Transformador Elevador	16
3.2 Cuadro de Potencia del Transformador Elevador	19
3.3 Cuadro de Control y Protección del Transformador Elevador	20
3.3.1 Equipo de Protecciones	20
3.3.2 Equipo de Control	22
3.4 Resistencia de Puesta a Tierra del Transformador Elevador	22
3.5 Caseta Prefabricada PFU-4	23
4 CONDUCTORES ELÉCTRICOS	25
4.1 Cables de Baja Tensión de 0,4 kV	25
4.2 Cables de Media Tensión de 20 kV	26
5 CENTRO DE ENTRONQUE Y SECCIONAMIENTO	28
6 EQUIPO DE MEDIDA Y FACTURACIÓN DE LA COMPAÑÍA	29
6.1 Dotación de la Celda de Medida y Facturación	29
7 RED DE TIERRA	32
8 ALUMBRADO	34
9 OBRA CIVIL	35
10 COMUNICACIONES Y TELECONTROL	36
11 SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO	38
12 NORMATIVA APLICABLE	41

1 SISTEMA ELÉCTRICO DE LA PLANTA DE COGENERACIÓN

En el exhaustivo análisis hecho en el Estudio de Viabilidad de nuestra futura planta de cogeneración, hemos visto de un modo bastante completo las características tanto técnicas, energéticas, como económicas de los sistemas térmicos y eléctricos de dicha planta; haciéndonos una idea general bastante amplia de la misma.

Una vez vista la idea general de cómo es nuestra nueva planta de cogeneración, entre este apartado y los siguientes se pretende describir con todo detalle y de una forma global el sistema eléctrico de dicha planta, analizando la descripción y el emplazamiento de todos y cada uno de sus componentes.

No obstante, conviene indicar que la descripción se limitará a la instalación eléctrica de la nueva planta de cogeneración que se propone en este proyecto; ya que la instalación eléctrica de la planta existente en la actualidad, lógicamente ya está diseñada y construida.

El sistema eléctrico se divide en tres partes principales:

- La parte de generación de energía eléctrica.
- El centro de transformación.
- Conexión en el centro de entronque con la línea general de 20 kV.

La parte de generación consta de un grupo electrógeno o motogenerador (motor de cogeneración) cuyo generador síncrono es de 1.460 kVA y 400 V, con sus correspondientes dispositivos de potencia, medición, control y protección, los cuales estarán integrados en la celda de generación. Todos estos elementos se encontrarán dentro de un edificio dedicado exclusivamente para albergar el grupo motogenerador, el puesto de control y el cuadro de generación.

El generador conecta directamente con el transformador elevador de 1.600 kVA, el cual eleva la tensión de generación desde 0,4 kV hasta 20 kV, tensión de la red de la línea general de la Compañía Sevillana. Esta conexión se hace pasando previamente por el cuadro de generación.

En el centro de transformación, se localiza dicho transformador elevador del circuito de generación con sus correspondientes sistemas de potencia, medida, control y protección de alta tensión, los cuales estarán integrados en la celda de transformación; en cuanto a los sistemas de protección de baja tensión, éstos serán compartidos con el sistema del generador. Todos estos elementos se encontrarán en el interior de una caseta prefabricada de hormigón tipo PFU, dedicada exclusivamente para albergar al transformador elevador, con su cuadro correspondiente.

Finalmente, en el centro de entronque se unirán mediante conexión entre celdas el circuito de la nueva planta de cogeneración, con la línea aérea general de 20 kV de la Compañía Sevillana, así como con el circuito eléctrico de la planta ya existente. Dicho centro contendrá los cuadros de potencia, protección y control adecuados.

Señalar que el esquema eléctrico diseñado permite una independencia eléctrica entre la nueva planta de cogeneración propuesta y la planta actual, pudiendo funcionar una independientemente del estado de la otra, haciendo que este esquema sea más seguro. Así pues, en los momentos en los que no esté funcionando el grupo motogenerador de la planta de cogeneración, la planta actual estará conectada a la red teniendo que comprar la energía de la misma, desconectando la planta de cogeneración. Mientras que en los momentos en que sí esté funcionando el grupo motogenerador, la planta de cogeneración suministrará toda su energía al embarrado de 20 kV, de forma que una parte de la misma se autoconsumirá en la planta actual y la otra (los excedentes) serán vendidos a la red. Por último, en caso de que la planta actual estuviera parada y tuviéramos en funcionamiento el grupo motogenerador, toda la potencia sería vertida a la red.

2 SISTEMA DE GENERACIÓN

La elección más adecuada del grupo motogenerador a utilizar en nuestra planta de cogeneración ya ha sido justificada con el exhaustivo análisis que se hizo en el Estudio de Viabilidad, en el cual analizamos las diferentes alternativas posibles con sus respectivas conclusiones tanto energéticas como económicas a la hora de decidimos por la instalación de un tipo u otro de motor alternativo.

Finalmente se ha optado por el grupo de motogeneración JMS 320 GS-N.L de la marca JENBACHER, grupo que lleva instalado un generador síncrono de la casa STAMFORD cuyas características técnicas más importantes aparecen reflejadas más adelante.

Además, el hecho de que el generador sea síncrono lleva implícito una serie de ventajas frente al asíncrono, que han sido analizadas en la memoria de cálculo.

El sistema de generación consta de un grupo electrógeno o motogenerador (motor de cogeneración) de generador síncrono de 1.460 kVA y 400 V, con sus correspondientes dispositivos de potencia, medición, control y protección, los cuales estarán integrados en la celda de generación.

Todos estos elementos se encontrarán dentro de un edificio dedicado exclusivamente para albergar el grupo motogenerador, el puesto de control y el cuadro de generación.

2.1 GRUPO MOTOGENERADOR

El grupo de motogeneración elegido es el JMS 320 GS-N.L de la casa Jenbacher, cuyas características técnicas más importantes son las que veremos a continuación.

También conviene indicar una serie de cualidades de este tipo de motores:

- Condiciones idóneas para una transformación eficiente de la energía gracias al alto rendimiento de los motores.
- Control del grupo (regulación de la velocidad, de la potencia y de la combustión) por medio del sistema electrónico de control de motores diésel.
- Software especializado y desarrollado específicamente para cada aplicación.
- Módulos de cogeneración con técnicas de combustión interna de bajas emisiones contaminantes LEANOX.
- Alta fiabilidad en los niveles de emisiones de NO_x.

- Fácil empleo de gases alternativos.
- Sistemas de tratamiento de los gases de escape, lo que conllevará unas emisiones mínimas de NO_x, un incremento importante de la potencia específica, una durabilidad máxima de las bujías y un rendimiento óptimo.
- Comportamiento optimizado en funcionamiento en isla.
- Adaptación óptima a las condiciones ambientales en combinación con día· ne.
- Máxima integración de todos los elementos, lo que supone un número muy reducido de componentes utilizados, facilitando así el acceso a los mismos, y con ello las operaciones de mantenimiento.

Indicar por último, que tanto el sistema de control del grupo motogenerador, como la sincronización individual, la protección de red, el armario de potencia del generador, el software, etc; se fabrican y comprueban conjuntamente con el módulo de motogeneración en la fábrica de la casa Jenbacher. Todos estos equipos pueden ser proporcionados conjuntamente con el grupo motogenerador. En cualquier caso, entre este apartado y los siguientes, se hará una relación y descripción detallada de todos estos sistemas.

2.1.1 Características del Grupo

Módulo de Cogeneración

Potencia eléctrica	1.048 kW el.
Potencia térmica aprovechable	1.310 kW
Energía invertida	2.692 kW
Consumo de gas con un PCI de 9,5 kWh/Nm ³	283 Nm ³ /h
Rendimiento eléctrico	38,9%
Rendimiento térmico	48,6%
Rendimiento total	87,6%
Calor a disipar (circuito de baja temperatura)	56 kW
Emisiones	NO _x < 500 mg/Nm ³ (5% O ₂)

Datos de Proyecto

Nivel de ruido del motor (valor medio en 1m)	95 dB(A)
Nivel de ruido gases de escape (a 1m de distancia)	121 dB(A)
Caudal másico húmedo de los gases de escape	5.728 kg/h
Caudal volumétrico húmedo de gases de escape	4.550 Nm ³ /h
Pérdida de presión máxima de gases de escape	60 mbar
Temperatura de los gases de escape a plena carga	500 °C
Caudal másico de aire	5.534 kg/h

Caudal volumétrico de aire	4.280 Nm ³ /h
Temperatura máxima del intercooler	40 °C
Depresión máxima admisión de aspiración	10 mbar
Temperatura de retorno	70 °C
Temperatura de salida	90 °C
Caudal de agua caliente	56,3 m ³ /h

Datos Técnicos del Motor

Tipo de motor	J 300 GS-V05
Número de cilindros	20
Configuración	V 70°
Taladro	135 mm
Carrera	170 mm
Cilindrada	48,67 l
Velocidad nominal	1.500 rpm
Velocidad media del pistón	8,5 m/s
Presión media efectiva a potencia y velocidad nominal	17,70 bar
Relación de compresión	11,8 epsilon
Potencia mecánica continua ISO estándar ICFN	1.077 kW
Consumo específico de combustible	2,50 kWh/kWh
Consumo específico de aceite	0,30 g/kWh
Peso en seco (motor)	4.900 kg
Volumen de aceite	370 l
Número de metano de referencia	70 MZ d)

Generador

Fabricante	STAMFORD
Tipo	HCI 734 F2
Potencia tipo	1.460 kVA
Intensidad nominal	2.107 A
Voltaje	400 V
Frecuencia	50 Hz
Potencia efectiva nominal con cos ϕ = 1,0	1.048 kW
Potencia efectiva nominal con cos ϕ = 0,8	1.037 kW
Rendimiento con cos ϕ = 1,0	97,3%
Rendimiento con cos ϕ = 0,8	96,3%
Clase de protección	IP 23
Clase de aislamiento	F
Número de revoluciones	1.500rpm
Peso	3.080 kg
Reactancia subtransitoria	14%

Dimensiones Globales y Pesos

Longitud	5.600 mm
Anchura	1.700 mm
Altura	2.300 mm
Peso en seco	10.900 kg
Peso listo para funcionar	11.400 kg

Conexiones

Entrada y salida del agua de refrigeración	80/16 DN/PN
Salida de gases de escape	250/10 DN/PN
Gas combustible	80/16 DN/PN
Conexión del agua de intercooler	
Circuito baja temperatura	65/16 DN/PN

Régimen Normal de Funcionamiento

Presión atmosférica	1.000 mbar
Temperatura del aire	25 °C
Humedad relativa del aire	30%
Altitud	< 500 m

2.1.2 Alcance de Suministro del Grupo

El grupo motogenerador consta de los elementos que se detallan a continuación.

Equipo básico del motor

- Turboalimentación, refrigeración de la mezcla.
- Carburador motorizado – regulador LEANOX.
- Equipo electrónico de alta tensión de encendido sin contactos.
- Bombas de engranajes para aceite lubricante.
- Filtro de aceite lubricante en el circuito principal.
- Cáster inferior; intercambiador de calor aceite lubricante.
- Bomba del agua de refrigeración del motor.
- Tuberías de gas, aceite y agua en el motor.
- Volante para operación con alternador; colector de escape.
- Amortiguador de vibraciones.

- Detectores de detonación.

Equipo del grupo

- Bastidor común para motor, alternador e intercambiadores de calor.
- Alternador de polos interiores con alternador excitación y regulación automática de tensión; de factor de potencia (0,8 ind. – 1,0).
- Acoplamiento elástico y soporte acampanado motor/alternador.
- Alojamientos elásticos.
- Filtros de aspiración de aire.
- Rellenado automático de aceite con vigilancia del nivel.
- Cableado hasta el armario de interfaces del grupo.
- Ventilación del cárter.
- Sistema eléctrico de precalentamiento.

Accesorios del motor

- Sistema de arranque eléctrico.
- Ajuste electrónico de velocidad.
- Detección electrónica de velocidad, con receptor de impulsos y, vigilancia de velocidad de arranque y sobrevelocidad.
- Transmisión y contactos para presión de aceite, temperatura del agua de refrigerante, presión de agua de refrigerante y de sobrealimentación y temperatura de la mezcla.
- Un termoelemento por cilindro.

Suministrado aparte del módulo

- Rampa de gas, según DIN-DVGW, compuesta de: llave de cierre manual, filtro de protección, 2 válvulas electromagnéticas, dispositivo de control de fugas, regulador de presión de gas.

Armario de control

Montaje, barnizado y prueba del grupo

Documentación

- Instrucciones de servicio y manual de mantenimiento.

- Catálogo de repuestos.
- Planos.

2.2 CUADRO DE POTENCIA DEL GRUPO MOTOGENERADOR

A través de este cuadro se realiza la conexión y desconexión del grupo motogenerador con el transformador elevador y por tanto la conexión con la red y con la planta ya existente en la actualidad.

El cuadro de potencia del grupo motogenerador está constituido por los elementos que se relacionan seguidamente.

- Un interruptor seccionador automático MASTERPACT M25-N1, de Merlin Gerín y los relés que lo controlan. Las características más importantes son:

Intensidad nominal (40 °C)	2.500 A
Tensión nominal (50 Hz)	400 V
Intensidad de corta duración admisible (1 s)	55 kA
Poder de cierre en cortocircuito	105 kA
Tensión nominal de aislamiento	1.000 V
Tiempo total de corte	25 a 30 ms sin retardo intencional
Tiempo de cierre	60 ms

- Tres transformadores de corriente tipo 2.500/5 A para medida, Clase 1, de 30 VA.
- Tres transformadores de tensión con dos arrollamientos secundarios para control y protección tipo $0,4/\sqrt{3} / 0,11/\sqrt{3} - 0,11/\sqrt{3}$ kV, para medida Clase 1 y para protección Clase 5P10, de 50 VA.
- Cuatro grupos de tres transformadores de corriente cada uno, tipo 2.500/5 A, para protección, Clase 5P10, de 30 VA.
- Embarrado en pletina de cobre debidamente dimensionado, aislado por plásticos de colores identificadores de fases.

Las protecciones internas estarán enclavadas con el relé 86, de forma que no se pueda cerrar sin comprobar la causa de la desconexión.

Para el conjunto de armarios de potencia se incluye un sistema de ventilación-extracción de calor compuesto por filtros de aire, ventiladores expelentes y termostatos regulables en número necesario a la intensidad y número de interruptores.

En el interior de esta celda, se alojan los conectores donde saldrán las pletinas de las canalizaciones eléctricas prefabricadas de Telemecanique tipo KTC-25, que conectarán con el transformador elevador.

2.3 CUADRO DE CONTROL Y PROTECCIÓN DEL GRUPO MOTOGENERADOR

Por el grupo motogenerador se dispone de un completo conjunto de protecciones y medidas, tanto eléctricas del generador como de parámetros del motor. Además, para el perfecto funcionamiento del grupo en paralelo con la red, se incluye un equipo de controles electrónicos.

Los cuadros de control y protección del generador se basan en el uso de un autómata programable (PLC) que rodeado por el equipamiento necesario, permite el desempeño de las siguientes maniobras y funciones:

- Funcionamiento completamente automático y manual asistido de la instalación.
- Arranque automático del grupo generador, en función de la discriminación horaria, o por programación específica para la planta.
- Protección continuada del motor y alternador, con parada de grupo en caso de anomalía en éste. Las acciones de las alarmas se ejecutan, bien sea de forma inmediata, o en conjunción de las condiciones de funcionamiento (control en servicio).
- Sincronización automática del grupo con la red.
- Control de potencia del grupo.
- Ejecución manual + automática de maniobras de los equipos auxiliares del grupo.

2.3.1 Equipo de Medida

- Un multimetro de variables eléctricas de precisión Clase 1 con comunicación de datos serie RS232.

Permite ver el siguiente conjunto de variables:

- Energía activa generada: contador precintable con salida de pulsos (Wh).
- Vatímetro: potencia activa generada (W).

- Varímetro: potencia reactiva generada (Var).
- Fasímetro: indicador de factor de potencia (cos ϕ).
- Amperímetro: intensidad del generador, 3 corrientes de fase (A).
- Frecuencímetro: frecuencia (Hz).
- Voltímetro con conmutador: tensión del generador (V).
- Amperímetro. Excitación.
- Voltímetro. Excitación.

2.3.2 Equipo de Protecciones

Todos los relés de protección serán de tipo electrónico y selectivo, y aparecen relacionados a continuación.

Si el relé que detecte la correspondiente falta tiene por misión aislar al generador, actuará del siguiente modo:

1. Disparará el interruptor del generador.
2. Mediante la apertura del interruptor de campo, provocará una desexcitación rápida.
3. Parará el motor cerrando la válvula de admisión de gas.
4. Activará una señal de alarma.

Si por el contrario el relé no tiene la misión de aislar al generador, únicamente activará una señal de alarma.

Faltas a Tierra en el Estátor (relé 64G)

En las faltas a tierra en el devanado del estátor se debe limitar la corriente homopolar que circula por el generador entre 5 y 15 A. Para limitar esta corriente se pone un transformador en la puesta a tierra del generador, en cuyo secundario va una resistencia calculada para limitar el valor de la intensidad de falta.

La detección de la falta se consigue poniendo un relé de máxima tensión (64G) en paralelo con dicha resistencia. Este relé dará señal de disparo.

Faltas entre Fases (relé 87G)

Para proteger al generador contra este tipo de faltas cercanas al alternador, se utiliza una protección diferencial del generador, función 87G, que compara

intensidades fase-fase entre la entrada y la salida del generador. El relé se alimenta desde dos transformadores de intensidad para protección Clase 5P10 de relación 2.500/5 A, de 30 VA.

Enclavamiento (relé 86)

El relé función 86, es un relé accionado eléctricamente con reposición a mano o eléctrica, que funciona para parar y mantener al grupo motogenerador fuera de servicio cuando ocurren condiciones anormales de funcionamiento.

Faltas a Tierra en el Rotor (relé 64R)

Como el circuito de campo de un generador es un sistema aislado de tierra, una única falta a tierra en dicho circuito no perjudica al generador, ahora bien, si apareciese una segunda falta se estaría cortocircuitando un tramo del devanado de excitación, y en consecuencia se producirían flujos desequilibrados en los entrehierros del generador. Estos flujos causarían a su vez grandes vibraciones que dañarían al generador.

Para evitar que esto suceda se utiliza una protección de máxima tensión (64R), que da una señal de alarma cuando se produce la primera falta.

Pérdida de Excitación (relé 40)

Cuando por alguna falta se pierde la excitación del generador, éste sigue girando debido a su elevada inercia, sin embargo pierde el sincronismo y pasa a funcionar como generador asíncrono, tomando la excitación del sistema de potencia exterior en forma de potencia reactiva, lo cual provoca elevadas corrientes por el estátor que pueden dañar seriamente al generador.

Para evitar estos daños se utiliza una protección de pérdida de excitación o relé de campo, función 40, que es un relé de distancia de característica Mho ajustado para detectar la variación de impedancia al perder la excitación. Funciona por un valor dado, anormalmente bajo, por fallo de la intensidad del campo del generador, o por un valor excesivo de la componente reactiva de la corriente de armadura, que indica excitación del campo anormalmente baja.

Regulación de la Excitación (relé 90V)

Es un dispositivo cuya misión es regular la cantidad de tensión a su valor correspondiente para obtener la excitación adecuada del generador.

Sobretensiones (relé 59)

En el caso de que se produzca una subida elevada de la tensión de la red, se debe desconectar inmediatamente el generador de ésta, para de esta forma evitar una brusca caída de cesión de reactiva, aparte de los problemas de aislamiento que podría conllevar.

Para detectar este tipo de faltas se conecta un relé vigilante trifásico de máxima tensión o de sobretensión, función ANSI 59, en el secundario del transformador de tensión para protección Clase 5P10 de relación $400/\sqrt{3} / 110/\sqrt{3} - 110/\sqrt{3}$ kV, a una tensión compuesta (se conecta entre fases), para tratar que no le afecten las sobretensiones que se producen en las fases sanas en caso de falta a tierra.

De acuerdo con lo dispuesto en la ONSE 30.01-19B, esta protección se ajustará al 110 % de la tensión entre fases y el disparo será instantáneo.

Tensiones Anormalmente Bajas (relé 27)

Cuando en la red se produce un descenso brusco de la tensión, el generador tiende a absorber reactiva de la red, lo cual provocaría a su vez una bajada de la tensión.

A fin de evitar esta situación cíclica, es necesario conectar tres relés vigilantes trifásico de mínima tensión, función ANSI 27, en el secundario del transformador de tensión para protección Clase 5P10 de relación $400/\sqrt{3} / 110/\sqrt{3} - 110/\sqrt{3}$ kV, a una tensión compuesta (se conecta entre fases), que detecte estos valores anormales.

De acuerdo con lo dispuesto en la ONSE 30.01-19B, esta protección se ajustará al 85 % de la tensión entre fases y tendrá una temporización inferior a 0,3 s.

Frecuencias Anormales Bajas (relés 81m/M)

Una caída en la frecuencia del sistema indica un exceso de carga sobre la capacidad de generación, y la actuación debe ser, cuando la detecta el relé función 81m, un deslastre de carga. Una subida de la frecuencia es señal de exceso en la generación, y es detectada con la protección 81M.

El problema es mucho más grave cuando la frecuencia cae, debido a las resonancias mecánicas que se producen en el generador, por ello se asignan unos tiempos máximos en que puede permanecer funcionando el generador para cada frecuencia.

Sobreintensidad (relé 51V)

Es un relé con una característica de tiempo inversa o definida, que funciona (disparará) cuando la intensidad de fase sobrepasa un valor dado. Esta protección contra sobreintensidades, sirve de apoyo a otras protecciones del grupo y de la red contra faltas entre fases.

Ahora bien, en el caso del generador, si se utilizase esta protección tal cual, presenta el inconveniente de que cuando llegase el tiempo de abrir el interruptor del generador la intensidad que vería el relé sería menor que la nominal, puesto que en el tiempo transcurrido la reactancia con que contribuye el generador a la falta ha pasado de la subtransitoria a la transitoria. Para evitar

esto se utiliza una protección de sobreintensidad con frenado por tensión (51V), la cual está ajustada de tal forma que la intensidad necesaria para provocar el disparo es menor cuanto más pequeña sea la tensión.

Inversión de Potencia (relé 32)

Es un relé direccional que detecta una aportación de potencia activa hacia el generador, o sea , una inversión de la corriente.

Cuando se interrumpe la alimentación de gas al motor, como sigue existiendo la excitación del generador, éste pasa a funcionar como motor, lo que puede ocasionar graves daños debido al sobrecalentamiento. Aunque el constructor del grupo motogenerador suministra una serie de dispositivos termométricos para detectar este sobrecalentamiento, es mucho más fácil y efectivo detectar este tipo de faltas desde el punto de vista eléctrico, utilizando para ello este relé de inversión de potencia, que detecta el flujo de potencia desde es sistema de potencia hacia el generador.

Sobrecargas y Fases Desequilibradas en el Estator (relé 46)

Cuando un generador está sujeto a sobrecargas o faltas desequilibradas, se producen intensidades en el estátor que incluyen una componente de secuencia negativa. Dicha componente origina un campo inverso de frecuencia 100 Hz que provoca un sobrecalentamiento en el generador.

Para evitar estos daños, se utiliza la protección contra fases desequilibradas, función 46, la cual detecta la componente de secuencia negativa.

Secuencia Incompleta (relé 48)

El relé de secuencia de arranque, funcionamiento o parada incompleta, función 48, es el que hace volver al equipo a la posición normal o “desconectado” y lo enclava, si la secuencia normal de arranque, funcionamiento o parada, no se completa debidamente dentro de un intervalo predeterminado.

Sobretemperatura (relé 49)

Es el relé que actúa cuando la temperatura del generador excede de un valor fijado.

Sincronización (relé 25)

El dispositivo de sincronización o puesta en paralelo, función 25, es el que funciona cuando dos circuitos de alterna están dentro de los límites deseados de tensión, frecuencia o ángulo de fase, lo cual permite o causa la puesta en paralelo de estos dos circuitos. Este relé está incluido en el sincronizador del generador.

Según la norma ONSE 30.01-19B, se dispondrá de un sistema de comprobación de sincronismo (relé 25) en el interruptor de interconexión, que

permitirá el acoplamiento cuando se cumplan las condiciones de sincronismo o cuando en función de la ubicación del interruptor de acoplamiento, no haya tensión en el lado del generador. También, se enclavará el cierre de todos los puntos en que, pudiendo producirse un acoplamiento, no estén equipados con relés de comprobación de sincronismo.

La conexión con la red de Sevillana deberá hacerse cuando en la operación de sincronización las diferencias de magnitudes eléctricas del generador y de la red sean inferiores o iguales a los siguientes límites.

Diferencia de tensiones: $\pm 10\%$

Diferencia de frecuencia: $\pm 0,2$ Hz

Diferencia de fase: $\pm 20^\circ$

En el caso de que la potencia del generador sea superior a 1.000 kVA, se instalará obligatoriamente un sincronizador automático:

2.3.3 Equipo de Control

El equipo de control irá ubicado en un armario de chapa de acero de una puerta, totalmente cerrado, completamente cableado hasta listón de bornes, con protección exterior IP 41, interior IP 10, y ejecución según normas VDE.

Los dispositivos esenciales de la sala de control son los siguientes:

- Sistema electrónico de control del motor diésel (Motor-Management-System Dialog Network). Sistema electrónico desarrollado por Jenbacher que consta, entre otros, de los siguientes dispositivos y funciones:
 - Control electrónico de la velocidad.
 - Control electrónico de la potencia.
 - Control electrónico de la carga.
 - Módulo de gestión electrónica del circuito de excitación del alternador.
 - Control electrónico de los equipos de medida y protecciones.
 - Sistema de sincronismo individual.
 - Módulo de alarmas específicas.
 - Control y regulación continua de la combustión LEANOX, que reduce las emisiones de sustancias contaminantes en un 90%, además de obtenerse las siguientes ventajas: alto rendimiento del motor gracias a las pérdidas mínimas de presión, alta fiabilidad en

los niveles de emisiones de NO_x, fácil empleo de gases alternativos.

- Visualización (PC industrial-Display a color de 10'') de forma clara y sencilla de toda la información relevante: datos de operación, representación de reguladores, gestión de alarmas, visualizadores de temperaturas, etc.

- Posibilidad de transmisión electrónica a distancia de datos.

- Bloqueo del selector de modo de servicio con las posiciones; "OFF", "MANUAL", "AUTOMÁTICO".
- Multiconvertidor.
- Selector de demanda.

2.4 CASETA PREFABRICADA

Ya se ha indicado con anterioridad como todos los elementos pertenecientes al sistema de generación: el grupo electrógeno o motogenerador con sus correspondientes dispositivos de potencia, medición, control y protección (los cuales están integrados en la celda de generación), se encuentran alojados dentro de un edificio.

Será un centro prefabricado de la firma JENBACHER, el cual cumplirá con la normativa pertinente para este tipo de edificios y tendrá las dimensiones adecuadas para acoger a todos los equipos pertinentes.

Dimensiones

Longitud	12.200 mm
Anchura	3.300 mm
Altura	3.600 mm
Superficie	40,3 m ²

3 CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

En el centro de transformación, se localiza el transformador elevador del circuito de generación con sus correspondientes sistemas de potencia, medida, control y protección de media tensión, los cuales estarán integrados en la celda de transformación; en cuanto a los sistemas de protección de baja tensión, éstos serán compartidos con el sistema del generador.

Dicho transformador elevador es de 1.600 kVA, y elevará la tensión de generación desde 0,4 kV hasta los 20 kV de la red de Sevillana.

Todos estos elementos se encontrarán en el interior de una caseta prefabricada de hormigón tipo PFU, dedicada exclusivamente para albergar al transformador elevador, con su cuadro correspondiente.

3.1 TRANSFORMADOR ELEVADOR

El transformador elevador elegido es un transformador trifásico de 1.600 KVA de la marca Merlín Gerín, cuyas características más importantes son las que se detallan seguidamente.

3.1.1 Características del Transformador Elevador

Características Técnicas

Marca	Merlín Gerín
Potencia asignada	1.600 kVA
Tensión de aislamiento	24 kV
Tensión primaria	20.000 V
Tensión secundaria	400 V
Regulación sin tensión	($\pm 2,5\%$, $\pm 5\%$)
Grupo de conexión	Dyn11
Frecuencia	50 Hz
Tensión de cortocircuito	6 %
Corriente de vacío a 100% Un	1,1%
Corriente de vacío a 110% Un	2,5%
Pérdidas en vacío	2.600 W
Pérdidas por carga a 75 °C	17.000 W
Caída de tensión a plena carga con $\cos\phi = 1$	1,23%
Caída de tensión a plena carga con $\cos\phi = 0,8$	4,48%
Rendimiento a carga 100% $\cos\phi = 1$	98,79%
Rendimiento a carga 25% $\cos\phi = 0,8$	98,87%
Ruido. Potencia acústica	71 dB

Dimensiones y Pesos

Longitud	2.054 mm
Anchura	1.226 mm
Altura	1.968 mm
Peso total	3.550 kg
Peso líquido	945 kg
Peso desencubado	1.650 kg

Características Constructivas

- Trifásico.
- Frecuencia 50 Hz.
- Servicio de interior. Instalación en caseta.
- Aislamiento y enfriamiento en baño de aceite.
- Refrigeración natural tipo ONAN (aceite).
- Llenado de aceite integral con depósito de expansión.
- Devanados de AT y BT en aluminio.
- Devanado de BT en espiral, con conductor en banda aislado con papel epoxy entre espiras.
- Devanado de AT continuo por capas, intercalando aislante y canales de refrigeración.
- Aislamiento clase A.
- Tapa empernada sobre cuba.
- Circuito magnético ejecutado en chapa de acero al silicio de grano orientado, laminada en frío y aislada por carlita, formando núcleos de sección cruciforme, con perímetro prácticamente circular.
- Protección superficial realizada por un revestimiento de poliéster, aplicado después de un tratamiento superficial adecuado de la chapa, reforzando la adherencia y asegurando una protección anticorrosiva óptima.
- Acabado en color B732, según UNE 48103, denominado “azul verdoso muy oscuro”.

Régimen de Funcionamiento Normal

- Altitud inferior a 1.000 metros.
- Temperatura ambiente máxima 40 °C.
- Calentamiento arrollamientos/aceite inferior a 65/60 K.

Normas

- UNE 20101 (CEI 76).
- Documento europeo de armonización CENELEC HD 428.
- UNESA 5201D.
- UNE 20138.

Accesorios

- Apoyos y ganchos de elevación y manutención.
- Depósito de expansión.
- Conservador de aceite con sus respectivas válvulas.
- Válvula de alivio de sobrepresión.
- Indicador magnético de nivel de aceite, con alarma por bajo nivel.
- Válvulas de llenado, vaciado y filtrado.
- Grifo de extracción de muestras de aceite.
- Dispositivo de conmutación $\pm 2,5\%$ $\pm 5\%$.
- Relé Buchholz de dos flotadores, herméticamente cerrado, con contactos de alarma y disparo.
- Desecador de aire con carga de silicagel.
- Termómetro de esfera antivibratorio, con contactos de alarma y disparo, e indicador de máxima.
- Radiadores adosados a la cuba, con tapones de purga y vaciado.
- Tomas de tierra con tornillo resistente a la corrosión.
- Ruedas bidireccionales orientables, atornilladas sobre dos perfiles en el fondo de la cuba.

- Protección DGPT2 (Detección de Gas Presión Temperatura 2 contactos).
- Zapatas de apoyos para gatos.
- Caja de bornas auxiliares.
- Termostato de alarma y disparo.
- Transformador de intensidad de cuba.

El pozo apaga-fuegos tendrá las dimensiones necesarias para contener una capacidad mínima igual al volumen de aceite del transformador situado sobre él. En concreto el volumen mínimo del pozo será de 950 litros.

El transformador ha sido sometido por el fabricante a los correspondientes ensayos de rutina o individuales: ensayos de medidas, ensayos dieléctricos, ensayo de calentamiento, ensayo con impulso tipo rayo, etc.

3.2 CUADRO DE POTENCIA DEL TRANSFORMADOR ELEVADOR

A través de este cuadro se realiza la conexión y desconexión del transformador elevador con la red general de 20 kV de la Compañía Sevillana y con la planta ya existente en la actualidad.

Hay que señalar que el cuadro de potencia del lado de baja tensión del transformador elevador es el mismo que el del generador, por estar el generador directamente unido al transformador, y que dicho cuadro ya se ha estudiado en el *apartado 2.2*.

El cuadro de potencia del lado de alta tensión del trafo está constituido por los elementos que se relacionan seguidamente.

- Un interruptor automático tripolar FLUARC SF1, de Merlin Gerín, ejecución fija, dotado con mando motorizado, bobina de cierre, bobina de disparo por mínima tensión y los relés que lo controlan. Las características más importantes son:

Intensidad nominal	400 A
Tensión nominal	20 kV
Poder de corte	14,5 kA
Poder de cierre	36,5 kA
Tensión aislamiento asignado, choque	125 kV
Tensión aislamiento asignado, 50 Hz	50 kV

- Un seccionador tripolar, tipo 89L SI3-36/400, de tensión de aislamiento 20 KV, intensidad nominal 400 A con cuchillas de puesta tierra enclavadas mecánicamente con el mando.

- Un seccionador de puesta tierra tipo 89PT que estará enclavado con el resto del equipo, a fin de que en ningún caso, se pueda acceder a ningún elemento bajo tensión, que eléctricamente se encuentre después de dicho seccionador de puesta a tierra.
- Dos grupos de tres transformadores de corriente cada uno, tipo 100/5 A, para protección, Clase 5P10, de 30 VA.
- Un transformador de corriente tipo 1.000/5 A, para protección del neutro del transformador, Clase 5P10, de 15 VA.
- Embarrado en pletina de cobre debidamente dimensionado, aislado por plásticos de colores identificadores de fases.

Las protecciones internas estarán enclavadas con el interruptor 86, de forma que no se pueda cerrar sin comprobar la causa de la desconexión.

Para el conjunto de armarios de potencia se incluye un sistema de ventilación-extracción de calor compuesto por filtros de aire, ventiladores expelentes y termostatos regulables en número necesario a la intensidad y número de interruptores.

En el interior de esta celda, se alojan los conectores donde saldrán las pletinas de los cables de 12/20 kV tipo Eprotenax, que conectarán con el punto de enganche de la línea general de media tensión de 20 kV.

3.3 CUADRO DE CONTROL Y PROTECCIÓN DEL TRANSFORMADOR ELEVADOR

Se dispone de un completo conjunto de protecciones y medidas para el transformador elevador.

3.3.1 Equipo de Protecciones

Todos los relés de protección serán de tipo electrónico y selectivo, y aparecen relacionados a continuación.

Protección Diferencial del Grupo (relé 87TG)

Para proteger al grupo generador-transformador contra el tipo de faltas internas de corriente entre fases y fase-tierra, se utiliza una protección diferencial de grupo con frenado de armónicos, función 87TG, que compara intensidades fase-fase y fase-tierra entre la entrada y la salida del grupo. El relé se alimenta desde dos transformadores de intensidad para protección Clase 5P10 de relación 100/5 A, de 30 VA y 2.500/5 A, de 30 VA respectivamente.

Deben evitar disparos indebidos en el momento de conexión del transformador a la red. A la hora de conectar un trafo a la red, por un lado circula la corriente necesaria para el circuito de magnetización, mientras que por el otro lado la corriente que circula es nula. Si en este caso se tuviera una protección diferencial común, saltaría al detectar una intensidad diferente por un lado que por otro. Para solucionar esto, como la corriente de magnetización se caracteriza por su alto contenido de segundos armónicos, se utiliza una protección diferencial con frenado por segundo armónico.

Enclavamiento (relé 86)

El relé función 86, es un relé accionado eléctricamente con reposición a mano o eléctrica, que funciona para mantener al grupo transformador fuera de servicio cuando ocurren condiciones anormales de funcionamiento.

Sobreintensidad de Fases (relé 50/51)

Es un relé con una característica de tiempo inversa o definida, que funciona (disparará) cuando la intensidad de fase sobrepasa un valor dado. Realiza una protección de sobreintensidad de fases instantánea, temporizada y regulada al 130% de la intensidad nominal.

Esta protección contra sobreintensidades, sirve de apoyo a otras protecciones del grupo y de la red contra faltas entre fases.

Sobreintensidad de Neutro (relé 50/51N)

Es un relé con una característica de tiempo inversa o definida, que funciona (disparará) cuando la intensidad homopolar por el neutro del transformador sobrepasa un valor dado. Realiza una protección de sobreintensidad instantánea, temporizada y regulada al 130% de la intensidad nominal.

Esta protección contra sobreintensidades, sirve de apoyo a otras protecciones del grupo y de la red contra faltas entre fases.

Protección Térmica (relé 49 y dispositivo 26)

El transformador está sometido a unas solicitaciones térmicas que deben mantenerse dentro de ciertos límites, ya que si se sufren elevados calentamientos se acorta la vida de sus aislamientos y con ello la vida del transformador. Con el fin de controlar la temperatura se utilizan diversos dispositivos térmicos, entre ellos se han seleccionado:

- Relé de imagen térmica de sobrecarga del trafo, función 49. Es una sonda termométrica que detecta temperaturas altas dentro de los devanados del transformador, y funcionará cuando dicha temperatura exceda de un valor fijado.
- Dispositivo térmico, función 26. Es un termómetro que controla la temperatura del aceite; si dicha temperatura excede de unos valores

determinados previamente se producirá una señal de alarma o de disparo respectivamente.

Detección de Gases (relé 63)

Cuando se producen irregularidades en el funcionamiento de los transformadores (sobrecalentamientos, faltas de aislamiento con masa, cortocircuitos...), se originan calentamientos locales que producen gases de aceite. Conforme la avería es mayor, más cantidad y con mayor rapidez se producen dichos gases.

Estos gases tienen tendencia de desplazarse desde la cuba hacia el depósito de aceite situado en la parte superior del trafo. Para detectarlos se ha previsto utilizar el relé Buchholz, función 63, que se intercala en el tubo que une la cuba del transformador con el depósito de aceite, el cual dará señal de alarma o de disparo según la velocidad de los gases por el interior del conducto.

3.3.2 Equipo de Control

El equipo de control irá ubicado en un armario de chapa de acero y constará de los siguientes elementos:

- Un autómata programable, tipo y modelo función de la aplicación.
- Una pantalla táctil como interface con el operador.
- Un sincronizador electrónico.
- Un sincronoscopio de 360° de conexión/desconexión automática.

3.4 RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA DEL TRANSFORMADOR ELEVADOR

El neutro del transformador elevador hay que ponerlo a tierra mediante una resistencia que limite la corriente de defecto a tierra a un máximo que viene fijado por la normativa actual. Además, con la puesta a tierra del neutro se evitan las sobretensiones que aparecen en las fases sanas en caso de estar el neutro aislado y darse un contacto a tierra.

Como queda reflejado en la memoria de cálculo, la intensidad de falta viene fijada por las “Normas Técnicas de Construcción y Montaje de las Instalaciones Eléctricas de Distribución” de la Compañía Sevillana de Electricidad en un valor máximo igual a 1.000 A.

Por tanto, se ha de tomar una resistencia de puesta a tierra para el neutro del transformador de $R_N = 1 \text{ } \Omega$, quedando limitada la corriente máxima de falta a tierra en el lado de 400 V por debajo de los 1.000 A.

3.5 CASETA PREFABRICADA PFU-4

Ya se ha indicado como en el centro de transformación, se localiza el transformador elevador del circuito de generación con sus correspondientes sistemas de potencia, medida, control y protección de media tensión, los cuales estarán integrados en la celda de transformación. Todos estos elementos se encontrarán en el interior de una caseta prefabricada de hormigón tipo PFU, dedicada exclusivamente para albergar al transformador elevador, con su cuadro correspondiente.

Será un centro prefabricado de la firma ORMAZÁBAL y queda definido como CASETA PREFABRICADA PFU-4.

El edificio prefabricado está constituido por un bloque principal que engloba las paredes laterales, la cimentación y la estructura base inferior, una placa piso sobre la que se colocan los equipos eléctricos de media y baja tensión, y una cubierta que completa el conjunto.

La envolvente es de hormigón armado vibrado, y se compone de dos partes: una que aglutina el fondo y las paredes, que incorpora las puertas y rejillas de ventilación natural, y otra que constituye el techo.

Todas las armaduras del hormigón están unidas entre sí y al colector de tierra, según la RU 1303; y las puertas y rejillas presentan una resistencia de 10 k Ω respecto a la tierra envolvente.

El acabado estándar del centro se realiza con pintura acrílica rugosa, de color blanco en las paredes, y color marrón en techos, puertas y rejillas.

La entrada al centro de transformación se realiza a través de una puerta en su parte frontal, que da acceso a la zona de aparamenta, en la que se encuentran las celdas de protección y los elementos de control del centro.

Normas Aplicadas

La calidad de la caseta ha sido reconocida por la Comisión de Calidad UNESA a los centros prefabricados de hormigón tipo PF 3041T en cumplimiento de los requisitos y ensayos requeridos por la RU 1303A (centros de transformación prefabricados de hormigón).

Además se ha seguido en todo momento la normativa recogida en el reglamento MIE-RAT.

Dimensiones y Pesos

Dimensiones Exteriores	
Longitud	4.480 mm
Anchura	2.380 mm
Altura	3.045 mm
Superficie	10,7 m ²
Dimensiones Interiores	
Longitud	4.280 mm
Anchura	2.200 mm
Altura	2.355 mm
Superficie	9,4 m ²
Dimensiones Excavación	
Longitud	5.260 mm
Anchura	3.180 mm
Profundidad	560 mm
Peso	12.000 kg

4 CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Tanto para los cables de media tensión (20 kV) como para los de baja tensión (0,4 kV) se utilizarán ternas de cables unipolares en contacto mutuo (tres fases más el neutro), en lugar de cables tripolares, ya que las secciones necesarias harían difícil el manejo de cables tripolares, y además si se estropea una fase sólo hay que reponer la fase afectada.

Todos los conductores se encontrarán dispuestos bajo tubo y sobre canalizaciones de PVC.

4.1 CABLES DE BAJA TENSIÓN DE 0,4 KV

Estos cables realizan la conexión entre el generador del motor de cogeneración y el lado de baja tensión del transformador elevador.

Se han calculado atendiendo a los criterios de:

- Intensidad máxima admisible.
- Caída de tensión admisible.
- Resistencia a las corrientes de cortocircuito.

Se han elegido canalizaciones eléctricas para alta potencia de calibre KTC-25 de la marca CANALIS de Telemecanique compuesta por tres carriles (conductores activos) de cobre más el neutro.

Según la normativa pertinente (IEC 439.2), y las tablas de elección aportadas por el fabricante, se han tomado cables con las siguientes características.

- Intensidad nominal, carga máxima que puede soportar de forma permanente cuando la temperatura media ambiente es de 35 °C: 2.500 A.
- Caída de tensión para cos ϕ igual a la unidad: 0,0156 mV/m· A.
- Conductores de cobre.
- Longitud: 10 m.
- Tensión asignada de empleo: 1.000 V.
- Número de conductores activo: 4 (tres fases más el neutro).
- Tensión asignada de aislamiento: 1.000 V.

- Corriente asignada de cresta: 180 kA.
- Corriente asignada de corta duración admisible (1 s): 80 kA.
- Resistencia media por conductor en frío (25 °C): 0,015 mΩ/m.
- Resistencia media por conductor (35 °C): 0,018 mΩ/m.
- Reactancia media por conductor: 0,01 mΩ/m.
- Impedancia media por conductor: 0,02 mΩ/m.
- Peso medio: 57 kg/m.

4.2 CABLES DE MEDIA TENSIÓN DE 20 KV

Estos cables realizan la conexión entre el lado de alta tensión del transformador elevador y el punto de enganche en el centro de entronque de la línea general de media tensión de 20 kV.

Se han calculado atendiendo a los criterios de:

- Intensidad máxima admisible.
- Sección mínima admisible ante corrientes de cortocircuito.
- Caída de tensión.
- Calentamiento máximo admisible.

Se han elegido cables del tipo EPROTENAX, aislados con goma de Etileno-Propileno, cuyas características de resistencia mecánica, a la humedad y a los fenómenos de ionización los hacen muy adecuados para las condiciones de instalación dadas.

Son cables subterráneos y van enterrados a una profundidad de 1 m, dispuestos sobre lecho de arena, colocándose unas piezas de ladrillo, cerámicas, de hormigón u otros materiales adecuados a una distancia de 15 cm por encima del plano de cables, que harán de cobertura de aviso y protección contra golpes de pico. De esta forma se cumple con lo dispuesto en la norma MIE-RAT 05 y en la MIE-BT 006-007, en las que se indica que la profundidad mínima de enterramiento para cables de baja y alta tensión es de 60 cm; y que la capa de protección de ladrillo u otros materiales ha de ir como mínimo a unos 10 cm por encima del plano de cables.

Según las normas UNE 20.435 e IEC 60502 y las tablas de elección aportadas por el fabricante, se han tomado cables unipolares en contacto mutuo con las siguientes características.

- Tensión nominal: 12/20 kV.
- Sección nominal: 300 mm².
- Intensidad nominal, carga máxima admisible en servicio permanente: 450 A.
- Conductores de aluminio.
- Longitud: 100 m.
- Aislamiento: etileno-propileno.
- Resistencia máxima en corriente alterna, a 90 °C y a la frecuencia de 50 Hz: 0,128 Ω/Km.
- Reactancia por fase a la frecuencia de 50 Hz: 0,101 Ω/Km.
- Ensayo de tensión. Tensión aplicada en corriente alterna durante 5 minutos: 30 kV.
- Ensayo de descargas parciales. Tensión de ensayo: 18 kV.
- Nivel de aislamiento a impulsos: 125 kV.
- Temperatura máxima en régimen permanente: 90 °C.
- Campo radial.

5 CENTRO DE ENTRONQUE Y SECCIONAMIENTO

En el centro de entronque se unirán mediante conexión entre celdas el circuito de la nueva planta de cogeneración, con la línea aérea general de 20 kV de la Compañía Sevillana, así como con el circuito eléctrico de la planta ya existente.

Dicho centro contendrá los cuadros de potencia, protección y control necesarios para la maniobra y protección de cada una de las salidas de derivaciones de la instalación particular (nueva planta de cogeneración y planta ya existente).

En principio no tenemos datos suficientes para dimensionar exactamente este centro, pues no poseemos las características eléctricas de la planta ya existente. Pero en cualquier caso, hemos de suponer que dicho centro ya ha sido calculado y dimensionado por la compañía eléctrica correspondiente (Compañía Sevillana) para poder realizar las funciones anteriormente descritas, no ya sólo para la planta ya existente, sino también para futuras ampliaciones como es el caso que nos ocupa.

En definitiva, podemos decir que la conexión de la nueva planta de cogeneración con la red general de 20 kV y la planta ya existente, se puede realizar directamente en el punto de enganche ya dimensionado por la compañía.

Por tanto, no entraremos en más detalles a la hora de describir este centro, si bien conviene indicar que las protecciones del mismo son las típicas para un centro de este tipo (interruptores, seccionadores, autoválvulas, relés de protección, etc.) y pueden verse reflejadas en el plano correspondiente (esquema unifilar eléctrico general, plano nº 3).

6 EQUIPO DE MEDIDA Y FACTURACIÓN DE LA COMPAÑÍA

El equipo de facturación cumplirá lo dispuesto en la norma ONSE 30.01-19B y lo prescrito en el artículo 48 del Reglamento de Verificaciones Eléctricas.

El punto de facturación se establece lo más próximo posible al elemento de protección general de la instalación, del lado del productor y al nivel de tensión de la interconexión con la red.

El puesto central de la Compañía Sevillana podrá realizar las siguientes funciones:

- Sincronizar con los equipos de autogeneradores.
- Ejecutar llamadas automáticas y manuales.
- Solicitar información sobre el estado de los equipos.

Para medir la energía eléctrica recibida en la planta y la entregada por ella, se dispondrá de los equipos de medida necesarios. Todos los elementos integrantes del equipo de medida se encontrarán precintados.

6.1 DOTACIÓN DE LA CELDA DE MEDIDA Y FACTURACIÓN

El equipo de facturación está formado por los elementos que se relacionan a continuación.

- Un contador trifásico electrónico combinado de energía activa y reactiva para la medida en ambos sentidos (P consumida, P generada, Q consumida, Q generada), con máxímetro más interruptor horario, de muy alta precisión, clase 0,2S en activa y 0,5S en reactiva, programable hasta triple tarifa, con emisiones de impulsos libres de potencial (1 imp/10 kWh) para cada uno de los sentidos, con un contacto “c” del sentido de la energía y con regleta de verificación.

Estos contadores van equipados con equipos registradores que almacenan las curvas de carga y con máxímetros que tienen período de integración programable en intervalos de 1 a 60 minutos, con escalones de 1 minuto.

Además, estos contadores están dotados de equipo de comunicación a través de puerto óptico que cumple con el protocolo CEI 1107, por lo que es posible realizar telemedida de: energía activa y reactiva, potencia activa y reactiva; conforme a lo dispuesto en la ONSE 30.01-19 B.

- Dos transformadores de corriente, tipo de 100/5 A, para medida de facturación Clase 0,2 y para protección clase 5P10, de 15 VA.

- Tres transformadores de tensión con tres arrollamientos secundarios, tipo $20/\sqrt{3} / 0,11/\sqrt{3} - 0,11/\sqrt{3} - 0,11/\sqrt{3}$ kV, para medida de facturación Clase 1 y para protección Clase 5P10, de 50 VA.
- Un tarificador que en función de la discriminación horaria elegida y de las medidas provenientes de los contadores, calculará la tarifa a aplicar. También dispone de un módem para comunicarse vía telefónica con el puesto central de teled medida. Sus características son las siguientes:
 - Admite hasta 6 entradas de impulsos libre de potencial.
 - Hasta 6 tarifas de energía y 8 de potencia.
 - Reloj de tarificación interno.
 - Display configurable por el usuario para la lectura total de los valores de medida para la facturación.
 - Preparado para la gestión de la demanda de la energía.
 - Módem telefónico incorporado.
 - Salvaguarda de datos en caso de fallos de tensión.
- Un relé electrónico para telecontaje, repetidor de todos los impulsos al Puesto Central de Teled medida de Sevillana y al sistema de adquisición de datos de la planta de cogeneración.
- Regletas de verificación de intensidades y tensiones precintables.
- Deberá disponerse una salida RS 232 para transmisión de datos a un equipo local.

Aparte se instalará un ordenador personal conectado a una impresora, el cual tendrá instalado un software de lectura remota que resuelva de forma compacta el problema de la teled medida, gestión y facturación de la energía de compra y venta de cogeneradores a empresas eléctricas, conforme lo expresado en la legislación vigente. El ordenador constará de:

- Módulo de comunicaciones tipo módem y protocolo asociado.
- Módulo de asignación de entradas, con posibilidad de tratar bajo un mismo sistema de facturación contadores ubicados en distintas remotas.
- Posibilidad de facturación múltiple, permitiendo contratos tarifarios diferentes para compra y venta de energía.
- Módulo de edición de parámetros de facturación.

- Módulo de consulta de datos, informando sobre consumos energéticos, máximas con fecha y hora, todo clasificado según tarifa en vigor y para un período definible.

7 RED DE TIERRA

Según la norma MIE-RAT 13, toda instalación eléctrica deberá disponer de una protección o instalación de tierra diseñada en forma tal que en cualquier punto normalmente accesible del interior o exterior de la instalación eléctrica donde las personas puedan estar sometidas a una tensión peligrosa durante cualquier defecto en la instalación eléctrica o en la red unida a ella, se cumplan las prescripciones descritas en esta normativa.

La misión de la red de tierra es la de proteger a las personas frente a contactos indirectos, evitar daños en el material y facilitar la detección de defectos a tierra.

Desde la malla de la red de tierra de la instalación eléctrica de la planta de cogeneración se realizarán las conexiones a todos los elementos que sean necesarios según indique la norma (partes metálicas de la instalación no sometidas a tensión, neutros de transformadores y generadores, circuitos de baja tensión de los trafos de medida, los elementos de derivación a tierra de los seccionadores de puesta a tierra, etc.).

En la puesta a tierra de la planta, según el MIE-RAT 13, hay que diferenciar dos tipos de puesta a tierra.

Puesta a tierra de protección.

Se pondrán a tierra todas las partes de la instalación que no estén en tensión normalmente, pero que puedan estarlo a consecuencia de averías, accidentes, descargas atmosféricas o sobretensiones.

Se conectarán a la tierra de protección los siguientes elementos:

- Los chasis y bastidores de los aparatos de maniobras.
- Las vallas y cercas metálicas.
- Las columnas, soportes y pórticos.
- Los blindajes metálicos de los cables.
- La carcasa del transformador y del motor de cogeneración.

Puesta a tierra de servicios.

Se conectarán a tierra los elementos de la instalación necesarios, y entre ellos:

- El neutro del transformador.
- Los elementos de derivación a tierra de los seccionadores de puesta a tierra.

- Los circuitos de baja tensión de los transformadores de medida.

Como se establece en la normativa, ambas puestas a tierra (protección y servicio) deberán conectarse entre sí, constituyendo una red de tierra general.

Para la nueva planta de cogeneración se ha previsto la instalación de una red de tierra general (ver cálculos realizados en el apartado 7 de la memoria de cálculo y plano n° 5 correspondiente) con las siguientes características.

- Se ha diseñado una malla de tierra formando cuadrículas de unas dimensiones medias de 2 x 2 metros aproximadamente, abarcando el recinto ocupado por la instalación eléctrica de la planta de cogeneración, que lo consideraremos con unas dimensiones aproximadas de un rectángulo de 28 x 4 metros.
- Los conductores de la malla serán de cable de cobre desnudo de 50 mm² de sección, de 7,98 mm de diámetro, e irán enterrados a una profundidad de 0,7 m.
- El número total de conductores dispuestos horizontalmente será de 3, y dispuestos verticalmente de 15.
- En algunos ángulos de la cuadrícula se clavarán, repartidas de forma simétrica, picas de acero recubierto de cobre, de 2 metros de longitud y 17 mm de diámetro. De esta forma, al clavar la pica en el terreno, se evita que se descamise y se garantiza la perfecta unión eléctrica entre el terreno y el electrodo. En total el número de picas será de 14.
- Desde esta malla se realizarán las conexiones a los soportes, equipos y estructuras metálicas de toda la planta.
- Todas las uniones entre conductores, y entre éstos y picas, se realizarán mediante soldadura aluminotérmica.
- La resistencia de la malla de tierra será de 3,34 Ω.

8 ALUMBRADO

Para la iluminación de los dos edificios de la instalación eléctrica de la planta de cogeneración (generación y transformación) se ha previsto la instalación de luminarias tipo fluorescente 2 x 36 W empotradas en el techo.

El número a colocar de dichas luminarias (ver un primer prediseño en la memoria de cálculo) es de:

$N_G = 3$ luminarias para el edificio que acoge al sistema de generación.

$N_T = 2$ luminarias para el edificio que acoge al centro de transformación.

Con esta disposición se consigue un nivel medio de iluminancia para cada uno de los edificios de, al menos, 250 lux, valor recomendado por la norma DIN 5035; existiendo además como mínimo dos puntos de luz en cada edificio.

Los focos luminosos estarán empotrados en el techo, y dispuestos de tal forma que se mantenga la máxima uniformidad posible en la iluminación. En cualquier caso, la posición, altura de las luminarias, ángulo de enfoque, etc., se podría calcular utilizando un programa informático adecuado.

También se ha previsto un alumbrado de emergencia (1 x 18 W) con generación autónoma, el cuál entrará en servicio automáticamente ante un corte del suministro eléctrico y permitirá la evacuación segura y fácil del personal hacia el exterior. Tendrá una autonomía mínima de una hora, un nivel de iluminancia mínimo de 5 lux y se alimenta mediante baterías destinadas exclusivamente a dicho fin.

Por último, conviene señalar que en cualquier caso ambos edificios son prefabricados, con lo que ya vendrán equipados con su propia iluminación acorde con la normativa vigente.

9 OBRA CIVIL

La obra civil a realizar será fundamentalmente la siguiente:

- Excavación, explanación y cimentación para la ubicación del edificio donde se aloja el sistema de generación.
- Excavación, explanación y cimentación para la ubicación de la caseta prefabricada PFU-4 donde se aloja el centro de transformación, incluyendo foso de recogida de aceite.
- Construcción de zanjas para conducción de cableado y malla de tierra.
- Acabado superficial de la planta de cogeneración realizado con grava y con un espesor de 10 cm.
- Construcción de accesos a la planta, con los viales y plataformas correspondientes.

10 COMUNICACIONES Y TELECONTROL

Según la norma ONSE 30.01-19B, cuando a juicio de la Compañía Sevillana las condiciones de seguridad en la explotación de la red lo requieran, la planta de cogeneración instalará y mantendrá un enlace de comunicación entre sus instalaciones y la Compañía Sevillana, de tal forma que se garantice la compatibilidad de sus equipos con los sistemas de control de la compañía, que garantice los soportes de teledisparo y del telecontrol y que cumpla con la normativa vigente sobre condiciones técnicas de equipos de comunicación y telecontrol.

Dentro de estas actividades de telecontrol se encuentran las siguientes.

Teleseñalización

Mediante contacto libre de potencial, se enviará señalización correspondiente del estado de los siguientes elementos:

- Interruptor de línea.
- Interruptor de grupo.
- Disparo por actuación de las protecciones de la interconexión. Esta señal agrupará el disparo por protecciones. Debe mantenerse al menos durante 0,1 s.
- Posición local-remota.
- Seccionador de puesta a tierra.
- Disparo temporizado fase, por actuación de la protección de sobreintensidad 51. Debe mantenerse al menos 0,1 s.
- Disparo temporizado fase, por actuación de la protección de sobreintensidad 51. Debe mantenerse al menos 0,1 s.
- Disparo instantáneo, por actuación de la protección de sobreintensidad 50. Debe mantenerse al menos 0,1 s.
- Falta corriente alterna.
- Falta corriente continua.

Estas señales se llevarán mediante cable apantallado hasta regletas del terminal de telecontrol.

Teledisparo

De igual forma, la norma establece la obligatoriedad de que la planta de cogeneración instale y mantenga un sistema de teledisparo que provoque la apertura del interruptor de interconexión para:

- Evitar que el autoproducer quede alimentando una parte del mercado de la compañía con una calidad de servicio inadecuada.
- Poder efectuar la reconexión del interruptor de línea lo antes posible, reduciendo el tiempo de conexión.
- Proteger los equipos del autoproducer ante una posible reconexión fuera de sincronismo.

Los requisitos técnicos que como mínimo deberá cumplir el sistema de teledisparo son:

- Teleprotección: permisiva.
- Velocidad de transmisión 64 kbits/s.
- Tiempo de transmisión < 20 ms.
- Disponibilidad > 99,99%.

En cualquier caso se deberá cumplir:

- La vía de comunicación será definida de común acuerdo con la compañía.
- Tiempo de actuación inferior al tiempo mínimo de reenganche.
- Vigilancia permanente del canal con señalización en la compañía.
- Eco de confirmación de llegada del teledisparo y señalización de posición del interruptor de interconexión.
- Su nivel de dependencia deberá ser demostrable frente a incidencias.
- Posibilidad de bloqueo al cierre del interruptor frontera y al desbloqueo que permita su reconexión.

Además, se dispondrá de un sistema de comprobación del estado operativo del canal de comunicación, el cual generará una alarma en caso de fallo.

11 SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO

Se ha previsto la instalación de un sistema de control y adquisición de datos, el cual permita el control y la supervisión de toda la planta de cogeneración mediante la recogida periódica de señales procedentes de los equipos de la planta (grupo motogenerador, intercambiadores, paneles de control, etc.).

Todos estos datos se presentarán en una pantalla, de forma que desde ésta se tenga acceso en tiempo real a todas las variables importantes del proceso. La supervisión incluye las variables analógicas (en forma de valor instantáneo y/o acumulado) y digitales (alarmas y/o estado) más significativas de la planta, de forma que con el conjunto de ellas se pueda conocer con exactitud cómo está operando la misma.

Los subsistemas que dispongan de su propio control, se comunicarán con la CPU de control vía Modbus.

El sistema de adquisición de datos se integrará en un puesto de operación desde donde se tiene acceso a todas las señales de la planta, y se comunica con la CPU mediante la red ethernet.

Bases de Diseño

La monitorización del proceso, en el puesto de operación, se realizará mediante un ordenador personal comunicado con la Unidad de Control.

El PC contará con el software de comunicación y programa de supervisión y control (SCADA) estándar convenientemente parametrizado, que permita entre otras posibilidades:

- Realizar operaciones aritméticas para:
 - Convertir a unidades de ingeniería.
 - Corregir caudales (con presión y/o temperatura).
 - Integración o acumulación de señales (volúmenes, energías, etc.).
 - Calcular potencias, rendimientos, entalpías, etc.
- Visualización de procesos, contando con el software de creación de gráficos sinópticos.
- Software de gestión de bases de datos con tiempos de muestreo programables por grupos.
- Informes de históricos.
- Tratamiento de alarmas.

- Informes de mantenimiento, con las bases de datos que archiven los parámetros necesarios: horas de funcionamiento, número de arranques, etc.).
- Uso de variables calculadas. Variables compuestas a partir de datos del proceso y cuyo tratamiento será similar al resto de las variables.

Base de Datos

El sistema contará con una base de datos que contiene la totalidad de los puntos de control.

En esta base de datos figurarán los datos relevantes del tipo de señal, dirección, rango, unidades de ingeniería, límites de alarma, etc.

Niveles de Seguridad

Se tendrá la posibilidad de programar hasta tres niveles de seguridad para el acceso a la información del sistema.

Pantalla

En pantalla se anunciarán los estados (marcha/paro, abierto/cerrado, etc.), avisos de anomalías y alarmas, valores de proceso, etc.

Informes

Los informes serán listados de variables y estados tomados del histórico (instantáneo o un período) o del proceso (tiempo real). Además, contendrán información útil relativa a valores medios-máximos-mínimos, consumos, rendimientos, horas de funcionamiento, número de arranques, etc.

Los informes serán parametrizables por el operador, que podrá elegir la hora o período.

Cualquier informe saldrá por la impresora correspondiente.

Hardware

El sistema de adquisición de datos, supervisión y control estará integrado por:

- Una unidad de control CPU redundante, basada en un PLC Siemens o similar.
- Un puesto de operación de planta, configurado por un PC-Pentium compatible, y una impresora.
- Una red de comunicación entre el puesto de operación y la CPU (ethernet).

- Líneas de comunicación con los diferentes equipos de control de los sistemas de la planta.

12 NORMATIVA APLICABLE

Para la realización del presente Proyecto de Instalación Eléctrica se ha tenido presente la normativa que detallamos a continuación:

Instalación Eléctrica

- Reglamento de Verificaciones Eléctricas y Regularidad en el Suministro de Energía. Decreto de 12 de mayo de 1.954.
- Reglamento Sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación. Real Decreto 3275/1982, de 12 de noviembre de 1.982. BOE nº 288 de 01/12/82.
- Instrucciones Técnicas Complementarias del Reglamento Sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación (MIE-RAT). Orden de 6 de julio de 1.984. BOE nº 183 de 01/08/84.
- Normas Técnicas de Construcción y Montaje de las Instalaciones Eléctricas de Distribución de la Compañía Sevillana de Electricidad, S.A. Aprobadas por la Consejería de Fomento y Trabajo de la Junta de Andalucía con fecha 11 de octubre de 1.989. BOJA nº 96 de 27/12/89.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias (MIE-BT).
- Norma ONSE 30.01-19B, sobre Productores en Régimen Especial Conectados a la Red de Sevillana. Pliego de Condiciones Técnicas.
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre de 2000, por el que se Regulan las Actividades de Transporte, Distribución, Comercialización, Suministro y Procedimientos de Autorización de Instalaciones de Energía Eléctrica.
- Normas UNE aplicables.

Autogeneración de Energía Eléctrica

- Ley 82/1980, de 30 de diciembre, BOE nº 23 de 27/1/81. Conservación de la Energía.
- Real Decreto 2818/1998, de 23 de diciembre de 1998, BOE nº 312 de 30/12/98. Producción de Energía Eléctrica por Instalaciones Abastecidas por Recursos o Fuentes de Energía Renovables, Residuos o Cogeneración.