

SUMINISTRO ELÉCTRICO DESDE TIERRA A BUQUES ATRACADOS EN PUERTO. SISTEMAS OPS

LA TRANSICIÓN HACIA UNA SOCIEDAD CON BAJAS EMISIONES DE CARBONO, ES UNA DE LAS GRANDES PRIORIDADES PARA LA LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO. PARA QUE LA INDUSTRIA SEA MÁS COMPETITIVA, Y SOSTENIBLE, DEBEMOS INVERTIR EN UNA GENERACIÓN Y UN CONSUMO ENERGÉTICO MÁS EFICIENTE Y LIMPIO CARA AL FUTURO, REDUCIENDO LAS EMISIONES DE CARBONO Y LAS EMISIONES CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA, SOBRE TODO EN ZONAS PRÓXIMAS A POBLACIONES URBANAS. ES UN HECHO QUE, EN EL SECTOR DEL TRANSPORTE MARÍTIMO, LOS BUQUES ATRACADOS EN PUERTO MANTIENEN SUS MOTORES AUXILIARES ARRANCADOS PARA GENERAR LA ENERGÍA ELÉCTRICA QUE ALIMENTA SUS SISTEMAS INTERNOS. ESTOS MOTORES AUXILIARES DE COMBUSTIÓN INTERNA, PRODUCEN EN EL ENTORNO DE LOS PUERTOS UNOS ELEVADOS NIVELES DE EMISIONES CONTAMINANTES Y DE EFECTO INVERNADERO.

Esta circunstancia genera en tan solo un año, unas emisiones de 0,5 Mt CO₂ equivalentes, 9.000 t de NO_x (equivalente a la circulación de 1,2 millones de vehículos convencionales) y 300 t de SO_x (equivalente a la circulación de 30 millones de coches).

La Directiva 2014/94/UE, se refiere específicamente al suministro de energía eléctrica a buques en puertos. Esta Directiva establece que cada miembro de la Unión Europea debe elaborar un Marco de Acción Nacional en el que se analice la necesidad de implantar sistemas de suministro eléctrico OPS (*Onshore Power Supply*) para poder suministrar energía eléctrica desde puerto a los buques y así poder parar los motores auxiliares.

Además de dicha directiva, otras normas internacionales contemplan los sistemas de suministro eléctrico OPS como medio para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y nocivos para la salud. Entre las más relevantes están:

- Directiva 2005/33/CE relativa al contenido en azufre de los combustibles de uso marítimo.
- Directiva 2008/50/CE, de carácter más general, relativa a la calidad del aire y combatir la contaminación atmosférica.

La instalación de sistemas OPS es una de las estrategias recomendadas por la "World Port Climate Initiative" para reducir la emisión de gases de efecto invernadero, además de los efectos nocivos para la salud, minimizando así el impacto medioambiental de los buques atracados en puerto.

Tal y como refleja un informe elaborado por Inovalabs para el Ministerio de Fomento en 2016, la implantación de sistemas OPS reduce las emisiones en puerto al *mix* de emisiones asociado al mercado eléctrico nacional, y además se deslocalizan radicalmente dichas emisiones alejándolas de los puertos y las ciudades donde éstos se sitúan. Según los cálculos realizados para dicho informe, el uso de sistemas OPS en

ONSHORE POWER SUPPLY (OPS) SYSTEMS FOR VESSELS AT BERTH

THE TRANSITION TOWARDS A LOW CARBON EMISSIONS SOCIETY IS ONE OF THE MAJOR PRIORITIES IN THE FIGHT AGAINST CLIMATE CHANGE. SO THAT THE INDUSTRY IS MORE COMPETITIVE AND SUSTAINABLE, WE MUST INVEST IN MORE EFFICIENT AND CLEANER ENERGY GENERATION AND CONSUMPTION WITH A VIEW TO THE FUTURE, REDUCING THE EMISSION OF CARBON AND POLLUTANTS INTO THE ATMOSPHERE, ABOVE ALL IN AREAS CLOSE TO URBAN POPULATIONS. IT IS A FACT THAT IN THE MARITIME TRANSPORT SECTOR, VESSELS AT BERTH KEEP THEIR AUXILIARY ENGINES RUNNING IN ORDER TO GENERATE POWER FOR THEIR INTERNAL SYSTEMS. THESE AUXILIARY INTERNAL COMBUSTION ENGINES PRODUCE HIGH LEVELS OF CONTAMINANT EMISSIONS AND GHGs IN THE AREAS SURROUNDING THE PORTS.

In one year, this circumstance generates emissions of around 0.5 Mt CO₂ eq., 9,000 t of NO_x (equivalent to 1.2 million conventional cars) and 300 t of SO_x (equivalent to 30 million cars).

Directive 2014/94/EU specifically refers to the supply of electricity to vessels in ports. This Directive establishes that each member of European Union must draw up a National Action Framework, which analyses the need to implement Onshore Power Supply (OPS) systems in order to provide vessels with electrical power and thus be able to stop the auxiliary engines.

In addition to this directive, other international standards see OPS power supplies as a means of reducing the emissions of greenhouse and other gases noxious for health. The most important standards include:

- Directive 2005/33/CE relating to the sulphur content of marine fuels.
- Directive 2008/50/CE, of a more general nature, on air quality and combatting air pollution.

The installation of OPS systems is one of the strategies recommended by World Port Climate Initiative to reduce the emission of greenhouse gases as well as their noxious impact on health, thereby minimising the environmental impact of vessels at berth.

As reflected in a report drawn up by Inovalabs for the Spanish Ministry of Infrastructure in 2016, the implementation of OPS systems reduces the emissions in port in the mix of emissions associated with the domestic electricity market, in addition to radically displacing these emissions by moving them away from the ports and their corresponding cities. According to calculations made for this report, the use of OPS systems in Spain would significantly reduce vessel emissions in port: NO_x by 96%, particulate matter by 68%, CO₂ by 45% and SO_x by 36%.

Electricity supply conditions required by an OPS system

In the case of low voltage, the electricity supply to a vessel has to take place at the working voltages of the vessel's power system, usually LV, at 380, 440 and 480 V. Moreover, ISO 80005-1

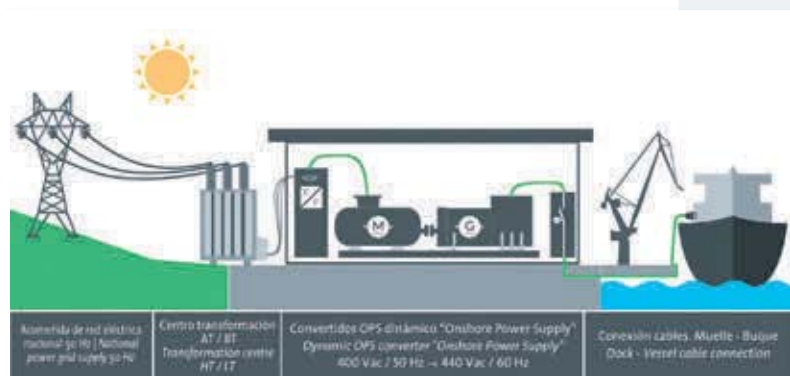


Figura 1. Infografía sistema OPS | Figure 1. Infographic of an OPS system

España reduciría las emisiones de buques en puerto significativamente: NOx un 96%, un 68% para partículas, un 45% CO₂, y SOx un 36%.

Condiciones de suministro eléctrico exigidos a un sistema OPS

La acometida eléctrica a un buque debe realizarse en caso de baja tensión, a las tensiones del sistema eléctrico del barco que suele trabajar en baja tensión: a 380, 400, 440 o 480 V. Por otra parte, la ISO 80005-1 establece que la conexión eléctrica en caso de alta tensión debe hacerse en el estándar 6,6 kV o 11 kV.

Independientemente del nivel de tensión, existe otro parámetro determinante como es la frecuencia de alimentación de suministro eléctrico del buque. En la actualidad, existen a nivel global, dos sistemas estandarizados de la frecuencia en la generación y transporte de energía eléctrica. Dependiendo del país de construcción del buque, la frecuencia eléctrica puede ser de 50 Hz o bien de 60 Hz. Por tanto, los sistemas OPS deben ser capaces de poder convertir y alimentar a buques con dichas frecuencias alternativas.

Tipologías para la conversión de frecuencia en los sistemas OPS

Existen básicamente dos tipologías diferentes para la conversión de frecuencia en los sistemas OPS:

- Empleo de convertidores de frecuencia dinámicos compuestos por motor eléctrico accionado por un variador de frecuencia, y acoplado a un alternador síncrono.
- Empleo de convertidores de frecuencia estáticos mediante semiconductores (GTO's o IGBT's).

Convertidor OPS dinámico vs convertidor OPS estático

Los convertidores OPS dinámicos, a diferencia de los estáticos, tienen una configuración eléctrica de la etapa de salida de generación idéntica a la de los grupos generadores auxiliares convencionales que incorporan los buques, exceptuando el elemento motriz que en el caso de los convertidores OPS dinámicos es un motor eléctrico en lugar de un motor de combustión interna.

Los convertidores OPS dinámicos incorporan un alternador síncrono al igual que los grupos generadores auxiliares. La calidad de onda de la tensión de salida es equiparable en cuanto al bajo nivel de armónicos y características de intensidad de cortocircuito, a las de los grupos generadores auxiliares que incorporan los buques. Esto hace que la respuesta ante posibles fallos eléctricos en barras, o cortocircuitos en equipos alimentados por los convertidores OPS, sean similares a cuando se alimentan mediante sus propios grupos generadores auxiliares, y no se hace por tanto necesario actuar o modificar los ajustes de los dispositivos de protección eléctrica del sistema eléctrico del buque, manteniendo los elevados niveles de calidad de la energía eléctrica suministrada.

Sistema OPS dinámico de 2.500 kVA 50/60 HZ para astilleros Navantia - Cádiz

Genelek ha diseñado, suministrado y puesto en marcha los cuadros de control, protección, sincronización y reparto de potencia activa y reactiva *load sharing* para un sistema OPS destinado a generar energía eléctrica para alimentación desde tierra a buques a 60 Hz, partiendo de la red eléctrica nacional (REE) a 50 Hz.

El sistema está compuesto por tres grupos convertidores de frecuencia "OPS dinámicos" de 840 kVA cada uno. Es un sistema modular, de modo que se puede configurar el sistema con uno, dos, o incluso tres grupos convertidores en función de la potencia demandada por los buques conectados.

establishes that the electrical connection in the event of high voltage must take place at the standard 6.6 kV or 11 kV.

Regardless of the voltage level, there is another determining factor: the input frequency of the vessel's power supply. At global level, there are currently two standardised frequency systems for the generation and transmission of electrical power. Depending on the vessel's country of construction, the power frequency could be 50 Hz or even 60 Hz. As such, OPS systems must be able to convert and supply vessels with these alternative frequencies.

Types of frequency conversion in OPS systems

There are essentially two different types of frequency conversion in OPS systems:

- Using dynamic frequency converters comprising an electric motor driven by a frequency converter coupled to a synchronous alternator.
- Using static frequency converters via semiconductors (GTOs or IGBTs).

Dynamic vs. static OPS converters

Dynamic OPS converters, unlike static converters, have a stage output electrical configuration identical to that of the conventional auxiliary gensets that are installed in vessels, apart from the drive element, which, in the case of dynamic OPS converters, is an electric motor rather than an internal combustion engine.

Both the dynamic OPS converters and the auxiliary gensets incorporate a synchronous alternator. The quality of the output voltage wave is comparable as regards the low harmonics level and short circuit intensity features, to that of the auxiliary gensets installed in vessels. This makes the response to possible electrical power failures in busbars or short circuits in equipment supplied by OPS converters, similar to when they are powered by their own auxiliary gensets. It means there is no need to take action or modify the adjustment of the electrical protection devices of the vessel's power supply, maintaining the high levels of quality of the electrical power supplied.

2,500 kVA 50/60 Hz dynamic OPS system for Navantia shipyards, Cadiz

Genelek has designed, supplied and commissioned the control, protection, synchronisation and active and reactive load sharing panels for an OPS system designed to deliver electrical power



Figura 2. Convertidor de frecuencia "OPS Dinámico" | Figure 2. "Dynamic OPS" frequency converter

Cada uno de los tres convertidores “OPS dinámicos” se compone de los siguientes elementos:

- Variador de frecuencia de 800 kW, 400 Vac, 50 Hz.
- Motor asíncrono de inducción de 800 kW, 400 Vac, alimentado a 400 Vac, 60 Hz por el variador de frecuencia.
- Alternador síncrono de 840 kVa, 440 Vac, 60 Hz y regulador de excitación digital.
- Cuadro de control, protección, sincronización y reparto de cargas.
- Cuadro de potencia CGBT con los interruptores motorizados de acoplamiento de los alternadores a barras de generación 440 Vac, 60 Hz.

Especificaciones técnicas críticas de diseño del sistema de control

El sistema de control de los convertidores OPS se ha desarrollado en base a un PLC de control y una pantalla HMI como interface de operador para cada uno de las tres unidades OPS dinámicas. Dispone de un equipo de protecciones eléctricas, sincronización y reparto de potencia activa y reactiva *load sharing*.

Los PLC's de los grupos convertidores están comunicados entre sí en una red local LAN mediante interface ETHERNET y protocolo Modbus TCP-IP. De esta forma, se configura un intercambio de información entre PLC's, el cual permite disponer en cada pantalla HMI de los datos y parámetros de los otros convertidores OPS conectados al sistema. El operador puede disponer de toda la información del sistema en cada pantalla HMI.

El cuadro de control, controla la frecuencia de generación de cada unidad con una resolución de 0,01 Hz. Esto permite disponer de suficiente precisión en las maniobras de sincronización, así como en la estabilidad de frecuencia de la energía eléctrica entregada al buque. La clase de precisión en régimen estable es CI 0,1.

El control de tensión, se realiza con una resolución de 1 V y con una clase de precisión CI 0,5.

El control de reparto de potencia activa y reactiva se realiza mediante un sistema de lazos de control velocidad/tensión cerrados y superpuestos a otros lazos de regulación velocidad/tensión con funciones “*droop*”, obteniendo un reparto de potencia activa y reactiva en régimen estable con precisión Clase 2.

Las conexiones y desconexiones de cada unidad OPS entrante/saliente se realizan mediante rampas programables, y los transitorios de escalones de cargas, así como la precisión y estabilidad en el reparto de potencia activa y reactiva, mejora en todos los aspectos tanto la precisión, como la estabilidad y los tiempos de respuesta que se pueden obtener con los sistemas de regulación habituales de los grupos auxiliares propios del buque.

from the national power grid (REE) at 50 Hz and supply vessels at berth at 60 Hz.

The system is made up of three groups of “dynamic OPS” frequency converters of 840 kVA each. This is a modular system meaning that it can be configured with one, two or even three converter groups depending on the output required by the connected vessels.

Each of the three “dynamic OPS” converters comprises following elements:

- 800 kW 400 Vac 50 Hz frequency converter.
- 800 kW 400 Vac asynchronous induction motor supplied by the frequency converter at 400 Vac. 60 Hz.
- 840 kVa 440 Vac 60 Hz synchronous alternator and digital excitation control.
- Control, protection, synchronisation and load sharing panel.
- CGBT power distribution board with motorised switches for coupling the alternators to the 440 Vac 60 Hz busbars.

Critical technical specifications in control system design

The OPS converter control system has been developed based on a PLC control and an HMI screen as an operator interface for each of the three dynamic OPS units. It is equipped with an electrical protections, synchronisation and active and reactive load sharing panel.

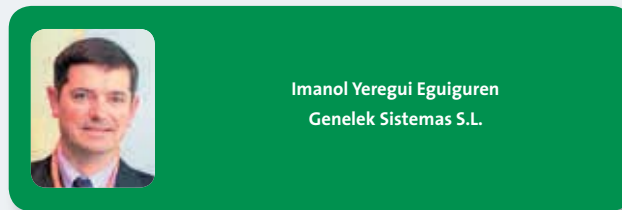
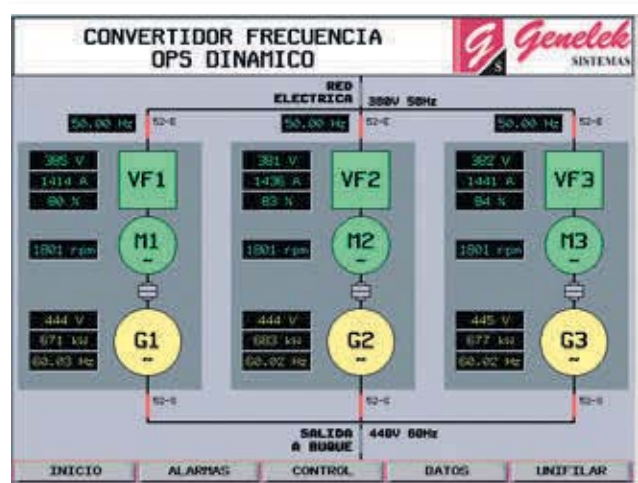
The PLCs of the converter gensets communicate with each other within a local LAN network via the Ethernet interface and Modbus TCP-IP protocol. In this way, an exchange of information between PLCs is established, which allows the data and parameters of the other OPS converters connected to the system to be viewed on each HMI screen. The operator has access to all the system information on each HMI screen.

The switchboard controls the frequency generation of each unit with a resolution of 0.01 Hz. This provides sufficient accuracy in synchronisation tasks, as well as in the frequency stability of the electrical power delivered to the vessel. The steady-state accuracy class is CI 0.1.

Voltage control takes place with a 1 V resolution and an accuracy class of CI 0.5.

Control over the sharing of active and reactive power takes place by means of a system of closed speed/voltage control loops, superimposed onto other speed/voltage regulation loops with droop functions, thereby obtaining an active and reactive load sharing with Class 2 steady-state accuracy.

The switching on and off of each incoming/outgoing OPS unit takes place via ramp programming and the transient step loads, as well as accurate and stable active and reactive load sharing, improve every aspect of the accuracy, the stability and the response times that can be obtained by using the usual regulation systems of the vessels’ own auxiliary gensets.



Imanol Yeregui Eguiguren
Genelek Sistemas S.L.

Figura 3. Pantalla del sistema de control de convertidores OPS dinámicos | Figure 3. Screen of the dynamic OPS converters control system