

El suministro de Energía Eléctrica a Buques desde Centrales de Generación con GNL para mejorar la Huella Ecológica en Puertos

Dr. Ingeniero Naval FRANCISCO GARCIA IGLESIAS

E.T.S. Ingenieros Navales – Universidad Politécnica de Madrid - ESPAÑA

# Suministro de electricidad a Buques desde subestaciones en Puerto



Buque de Crucero

Buque  
Portacontenedores

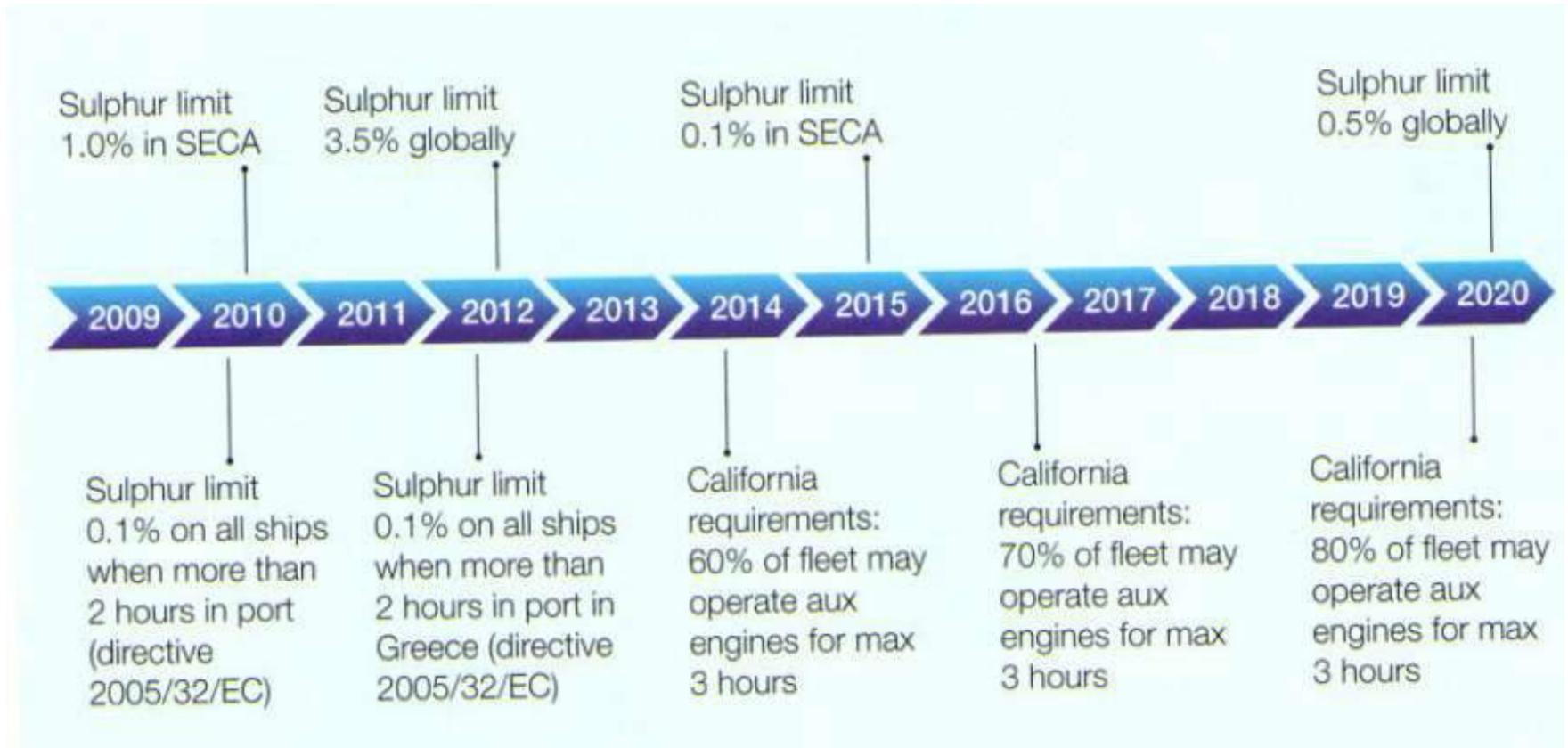


# ¿ Porqué el suministro de energía eléctrica a Buques desde subestaciones en tierra, mejora mucho la huella ecológica en el entorno portuario ?

- ▶ Cuando los buques están en Puerto utilizan sus motores auxiliares diesel para generar la energía eléctrica que necesita el buque para los servicios de hotel y para la carga y descarga, produciendo unas emisiones a la atmosfera que tienen un impacto muy negativo en el entorno del Puerto.
- ▶ Una de las medidas más efectivas para reducir estas emisiones, es suministrar la energía eléctrica al buque directamente desde la red eléctrica de distribución en el puerto, de modo que pueda parar sus grupos generadores diesel en puerto durante su estancia y así evitar las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.
- ▶ La Unión Europea ha implantado tiene una directiva desde 2005, que limita el contenido de azufre en los combustibles marinos al 0,1 % para reducir las emisiones producidas por los motores en puertos y recomienda el suministro de electricidad al buque desde las infraestructuras creadas al efecto en muchos de sus puertos.
- ▶ Esta práctica es importante en puertos que reciben un tráfico regular de buques de crucero, buques portacontenedores y buques ro-ro y ro-pax, pues estos buques suelen tener elevados consumos eléctricos en puerto y por tanto generan elevados niveles de contaminación.
- ▶ Con esta tecnología, se consigue cumplir la cada vez más estricta regulación de emisiones en puertos y la consiguiente mejora para el Medio Ambiente en el Puerto, pero también es interesante para la compañía Eléctrica que consigue un mercado de clientes muy importante, también para el Armador, pues el coste de la energía eléctrica suministrada durante la estancia suele tener un coste menor que si se generase con los propios grupos generadores del buque.



# Regulación Medioambiental en Puertos (IMO)



# La contaminación atmosférica de los Buques en Puerto

- ▶ En un estudio realizado en el puerto de Los Angeles y en el puerto de Long Beach, se estudiaron **las emisiones de NOx** en ton/día, durante un periodo de un año desde junio de 2002 a junio de 2003, contabilizando las emisiones producidas por los motores propulsores, motores auxiliares y calderas durante la navegación, maniobras y atracados de un total de 1148 buques y con un total de 2913 estancias en ambos puertos.
- ▶ Los tipos de buques considerados en el Puerto de Long Beach eran Portacontenedores, Petroleros y Graneleros.

Mode	Main Propulsion Engine	Auxiliary Engine	Boiler	Total
Cruise	16.2	1.4	-	17.6
Manoeuvring	2.0	0.7	0.1	2.8
Hotelling	0.7	11.0	1.0	12.7
Total	18.9	13.1	1.1	33.0

La aportación total de NOx de los buques en el puerto es de 33 ton/día, de los cuales un tercio se producen cuando los buques están atracados al muelle.

**Una comparación → 1 ton de NOx es la emisión aportada por 1 millón de coches al día**

# ¿Cuanto se puede reducir la contaminación en Puerto?

- ▶ En el año 2005, la Comisión Europea encargó un estudio comparativo sobre cuales son las emisiones para producir un kWh eléctrico en un grupo auxiliar diesel en un buque quemando combustible con menos de 0,1 % de azufre ( limite UE 2010) y cuales son las generadas por ese mismo kWh eléctrico, si se suministrasen por una conexión desde tierra al buque.
- ▶ Los factores medios de emisión para la generación eléctrica en Europa, ( Tendencias de Energía y Transporte en Europa en 2030 ) y los mismos factores medios de emisión de un motor diesel quemando combustible con menos de 0,1 % en azufre se muestran en la siguiente tabla :

	NO <sub>x</sub> [g/kWh]	SO <sub>2</sub> [g/kWh]	VOC [g/kWh]	PM [g/kWh]
Average emission factors for electricity production in Europe	0.35	0.46	0.02	0.03
Emission Factors from auxiliary engines using 0.1 % sulphur fuel (EU 2010 limit)	11.8	0.46	0.40	0.30

En este estudio, se hacía una comparación de las reducción de emisiones que se conseguía por reemplazar la generación eléctrica a bordo por el suministro directo desde tierra al buque.



# Reducción de emisiones vs.tamaño motor generador

- ▶ Reducción de emisiones por tipo de motor diesel generador en Ton/año/muelle en función del tamaño del motor diesel, quemando combustible con menos de 0,1 % de azufre, si se suministra desde tierra

		Small [t/year]	Medium [t/year]	Large [t/year]
NO <sub>x</sub>	Baseline emissions	15.3	42.4	109.1
	Emissions reduced	14.81	41.09	105.86
	<b>Reduction efficiency</b>	<b>97 %</b>	<b>97 %</b>	<b>97 %</b>
SO <sub>2</sub>	Baseline emissions	0.62	1.72	4.44
	Emissions reduced	0.0	0.0	0.0
	<b>Reduction efficiency</b>	<b>0 %</b>	<b>0 %</b>	<b>0 %</b>
VOC	Baseline emissions	0.52	1.44	3.71
	Emissions reduced	0.49	1.36	3.49
	<b>Reduction efficiency</b>	<b>94 %</b>	<b>94 %</b>	<b>94 %</b>
PM	Baseline emissions	0.39	1.08	2.78
	Emissions reduced	0.35	0.96	2.48
	<b>Reduction efficiency</b>	<b>89 %</b>	<b>89 %</b>	<b>89 %</b>

En esta comparativa se ha considerado una ocupación del muelle de un 70 %

**Conclusión → El suministro de energía eléctrica a buques desde tierra reduce significativamente la contaminación atmosférica generada por los buques en puerto.**

# El suministro de electricidad a Buques desde subestaciones en Puerto reduce significativamente la Huella Ecológica del Puerto

---



Menores Emisiones

Más Consumo  
Eléctrico en Puerto

---



# El diseño de la infraestructura de suministro en Puerto

---

- ▶ En la actualidad existen muchos puertos en Europa que disponen de infraestructuras para alimentar de potencia eléctrica a los buques y que han experimentado una mejora radical del medio ambiente en su puerto.
  - ▶ Para afrontar una infraestructura de este tipo, es imprescindible :
  - ▶ A) Realizar un estudio de las **tensiones y frecuencias** de utilización a bordo en los buques que normalmente arribarán al Puerto.
  - ▶ B) Realizar **un estudio profundo de los tráficos y tipos de buque** que está previsto que puedan arribar al Puerto y hacer una estimación de las demandas medias y máximas de potencia eléctrica que van a necesitar , para determinar un perfil de demanda tipo de potencia eléctrica a suministrar.
  - ▶ C) Determinar **la capacidad de carga de la Red Nacional de Electricidad** para abastecer desde las subestaciones cercanas al puerto la demanda de potencia que se puede suministrar a los buques en puerto.
  - ▶ La demanda de potencia instantánea en un buque puede variar desde 1 MW ( carguero medio ) hasta 11 MW ( buque de crucero ) dependiendo del tipo de buque.
  - ▶ A partir de estos datos, ya se pueden evaluar las diferentes alternativas y soluciones técnicas para suministrar la potencia eléctrica de manera segura a los buques y también se puede determinar el coste del suministro, que en general es interesante para el armador pues es más bajo que el coste de generarlo con sus grupos generadores a bordo.
- 



# Análisis de los tráficos y tipos de buques – Tensión

En esta tabla se presentan los valores típicos de la tensión de utilización a bordo en diferentes tipos de buques y como anteriormente dependiendo de su eslora.

La mayoría de los buques trabaja en Baja Tensión, pero grandes buques portacontenedores y buques de crucero con propulsión DE o DF/DE suelen funcionar en Media Tensión

	380 V	400 V	440 V	450 V	460 V	6.6 kV	10 kV	11 kV
Container vessels (< 140 m)	42 %	16 %	42 %	-	-	-	-	-
Container vessels (> 140 m)	6 %	79 %	-	3 %	-	12 %	-	-
Container vessels (total)	19 %	6 %	64 %	2 %		9 %		
Ro/Ro- and Vehicle vessels	-	30 %	20 %	43 %	7 %	-	-	-
Oil- and Product tankers	13 %	-	40 %	47 %	-	-	-	-
Cruise ships (< 200 m)	14 %	18 %	59 %	9 %	-	-	-	-
Cruise ships (> 200 m)	-	-	12 %	-	-	48 %	4 %	36 %
Cruise ships (total)	6 %	9 %	34 %	4 %	-	26 %	2 %	19 %

# Análisis de los tráficos y tipos de buques – Frecuencia

La frecuencia utilizada a bordo puede ser a 50 o 60 Hz, aunque la mayoría de los buques tienen una frecuencia de utilización a bordo de 60 Hz y suelen funcionar en Baja Tensión.

En los puertos americanos, tenemos la ventaja de que la tensión de red es la misma que la de los buques ( 60 Hz,) con lo que no es necesario instalar un convertidor de frecuencia, lo que supone un ahorro importante en el coste de la infraestructura en Puerto, que en puertos europeos es absolutamente imprescindible.

	50 Hz	60 Hz
Container vessels (< 140 m)	63 %	37 %
Container vessels (> 140 m)	6 %	94 %
Container vessels (total)	26 %	74 %
Ro/Ro- and Vehicle vessels	30 %	70 %
Oil- and Product tankers	20 %	80 %
Cruise ships (< 200 m)	36 %	64 %
Cruise ships (> 200 m)	-	100 %
Cruise ships (total)	17 %	83 %

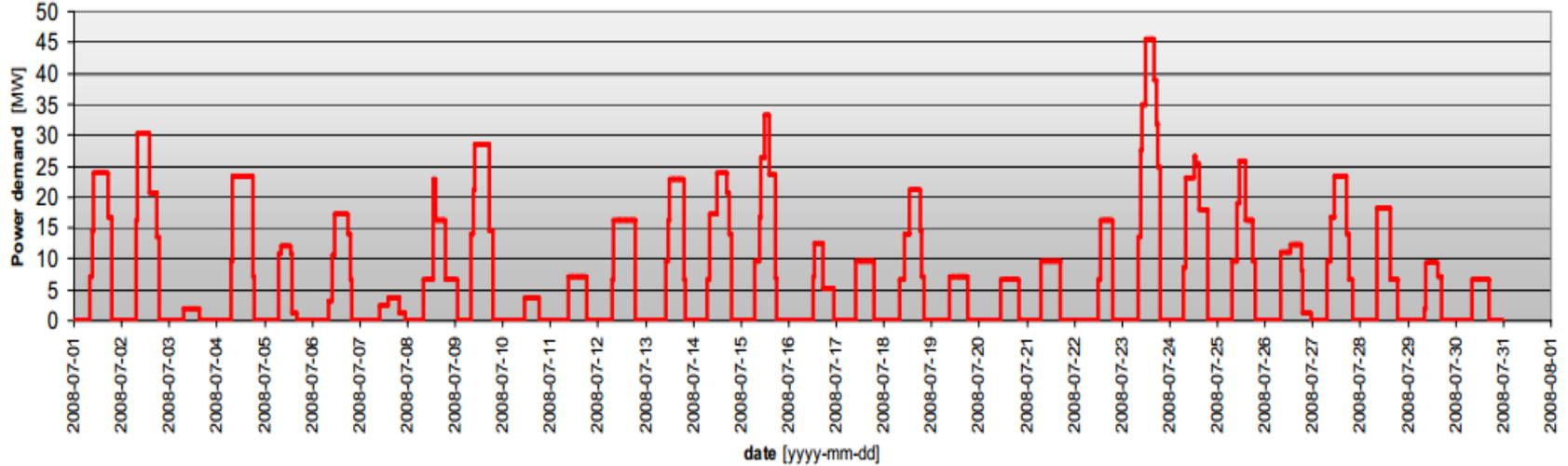
# Análisis de los tráficos y tipos de buques - Demanda de Potencia

En esta tabla se presenta la demanda de potencia media y máxima de potencia eléctrica de diferentes tipos de buques dependiendo de su eslora.

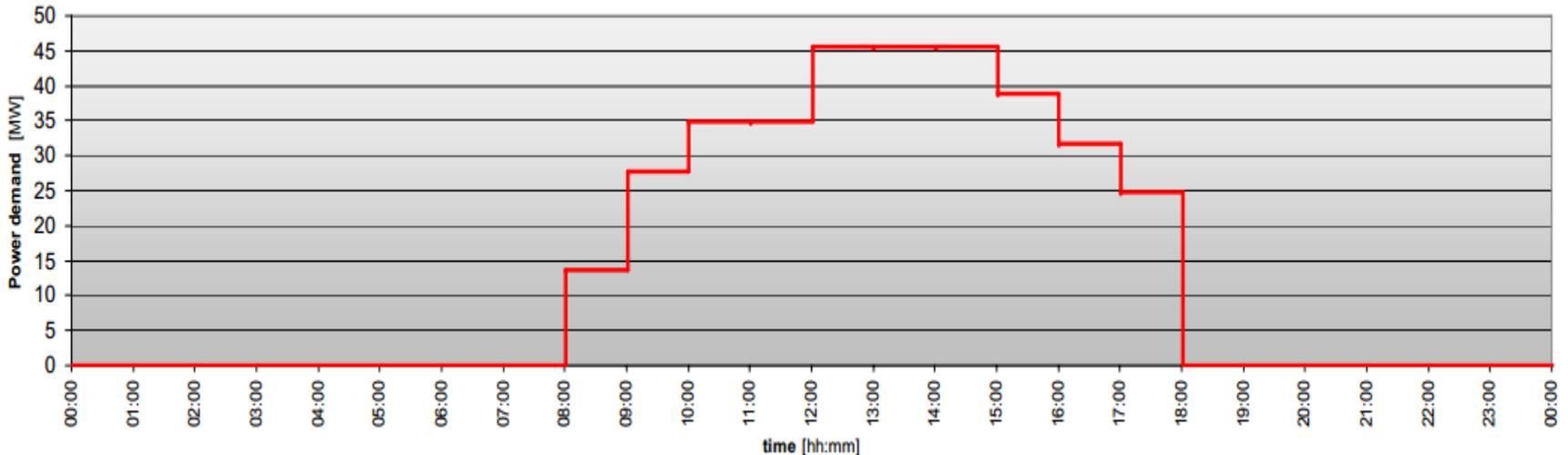
Es destacable la diferencia que hay entre buques de carga y buques de crucero

	<b>Average Power Demand</b>	<b>Peak Power Demand</b>	<b>Peak Power Demand for 95 % of the vessels</b>
Container vessels (< 140 m)	170 kW	1 000 kW	800 kW
Container vessels (> 140 m)	1 200 kW	8 000 kW	5 000 kW
Container vessels (total)	800 kW	8 000 kW	4 000 kW
Ro/Ro- and Vehicle vessels	1 500 kW	2 000 kW	1 800 kW
Oil- and Product tankers	1 400 kW	2 700 kW	2 500 kW
Cruise ships (< 200 m)	4 100 kW	7 300 kW	6 700 kW
Cruise ships (> 200 m)	7 500 kW	11 000 kW	9 500 kW
Cruise ships (total)	5 800 kW	11 000 kW	7 300 kW

# ¿ Cómo es el perfil de la demanda de potencia eléctrica ?



Perfil de demanda de potencia eléctrica en un puerto del Báltico- Julio 2008



▶ Perfil de demanda de potencia en el día de MAXIMA demanda – 23.7.2008

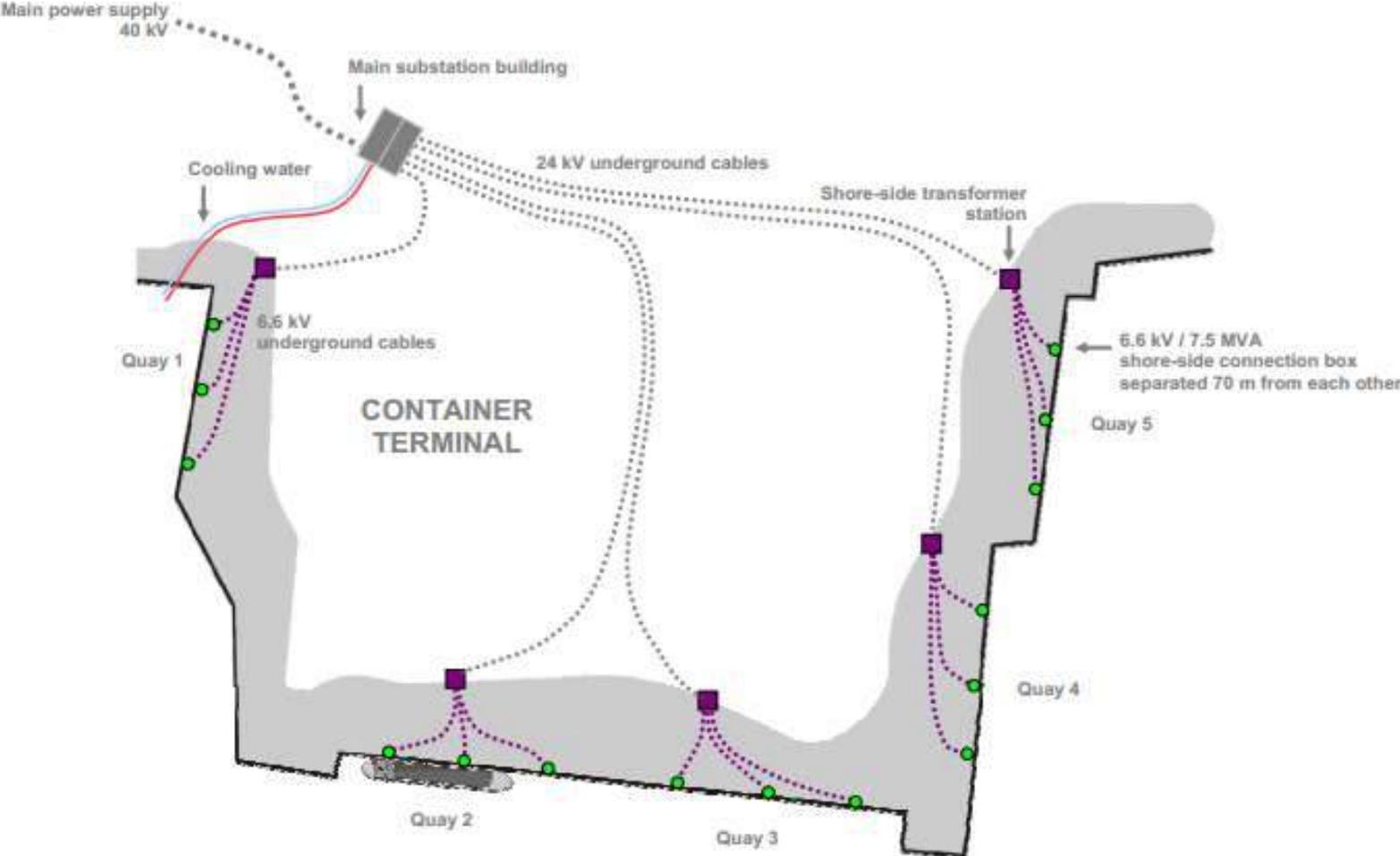
# Configuración típica **en Puerto** de suministro eléctrico a buques

---

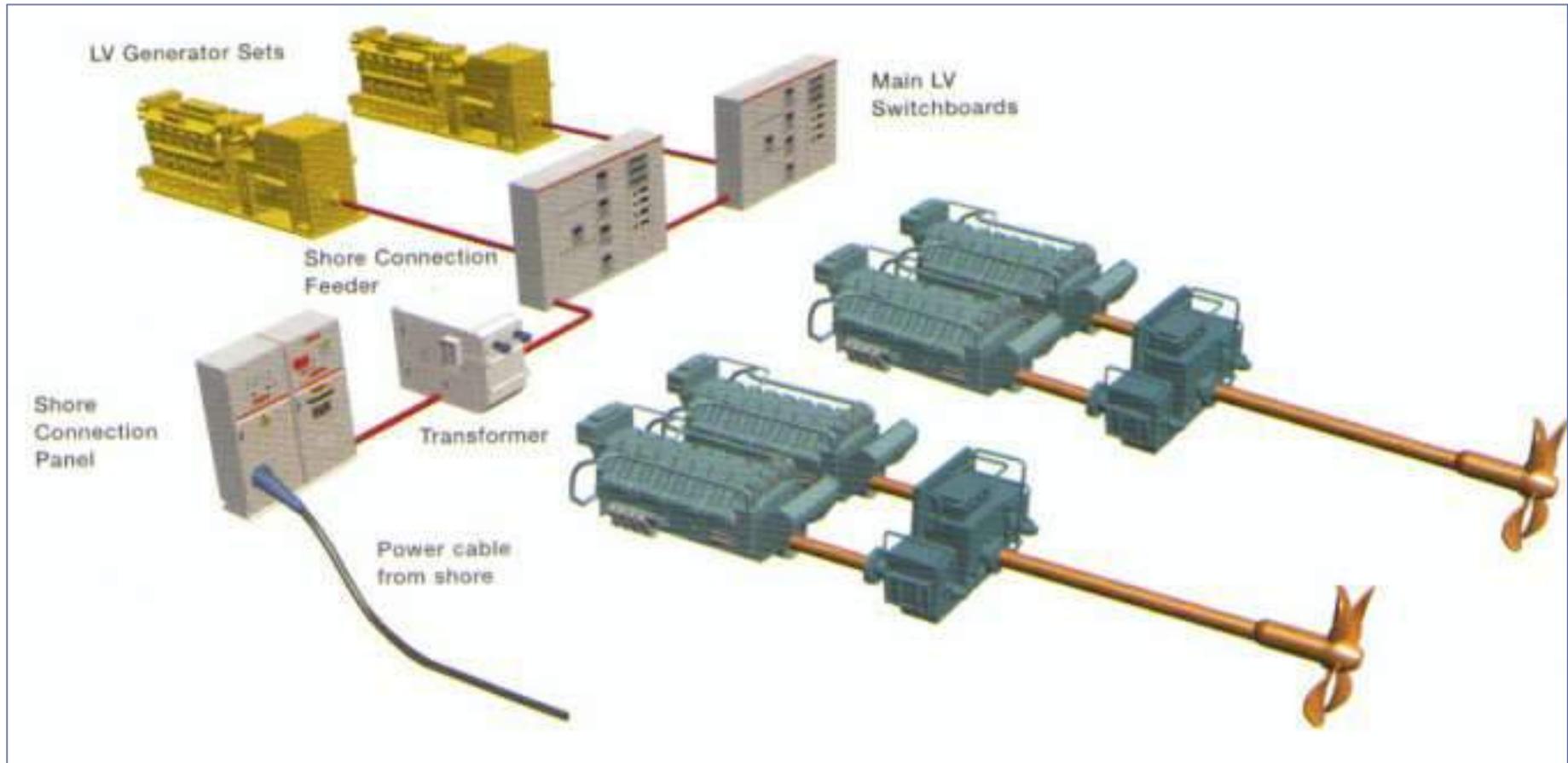
- ▶ Una configuración típica utilizada en Europa es una terminal en contenedor alimentada desde tierra a 6,6 kV y de unos 7,5 MVA, que distribuye a 50 y 60 Hz.
  - ▶ Obligatoriamente debe de haber un transformador en cada línea de suministro para servir de separación galvánica entre la subestación de la red eléctrica del puerto y el sistema eléctrico del buque.
  - ▶ En América donde la frecuencia de suministro de la red de tierra es la misma que la de los buques es mucho más económica pues no se necesitará un convertidor de frecuencia, que si es necesario en el resto del mundo.
  - ▶ Los convertidores de frecuencia centralizados en puerto, tienen que ser dimensionados a la demanda real de potencia del puerto y de suministro a los buques y tiene un alto porcentaje del coste total de la infraestructura, por lo es importante estudiar la posibilidad de instalar convertidores de frecuencia por módulos , donde estos mismos módulos pueden ser utilizados como bloques para diferentes necesidades de energía y poder así aumentar los volúmenes de suministro y reducir costes.
  - ▶ En grandes buques de crucero y buques de pasaje con propulsión Dual Fuel Diesel Eléctrica, la tensión de suministro a bordo suele ser en Media Tensión, pero en buques de menor tamaño, la distribución eléctrica se hace en Baja Tensión , por lo que es imprescindible disponer a bordo de un transformador reductor de tensión antes de alimentar el cuadro de distribución a bordo.
- 



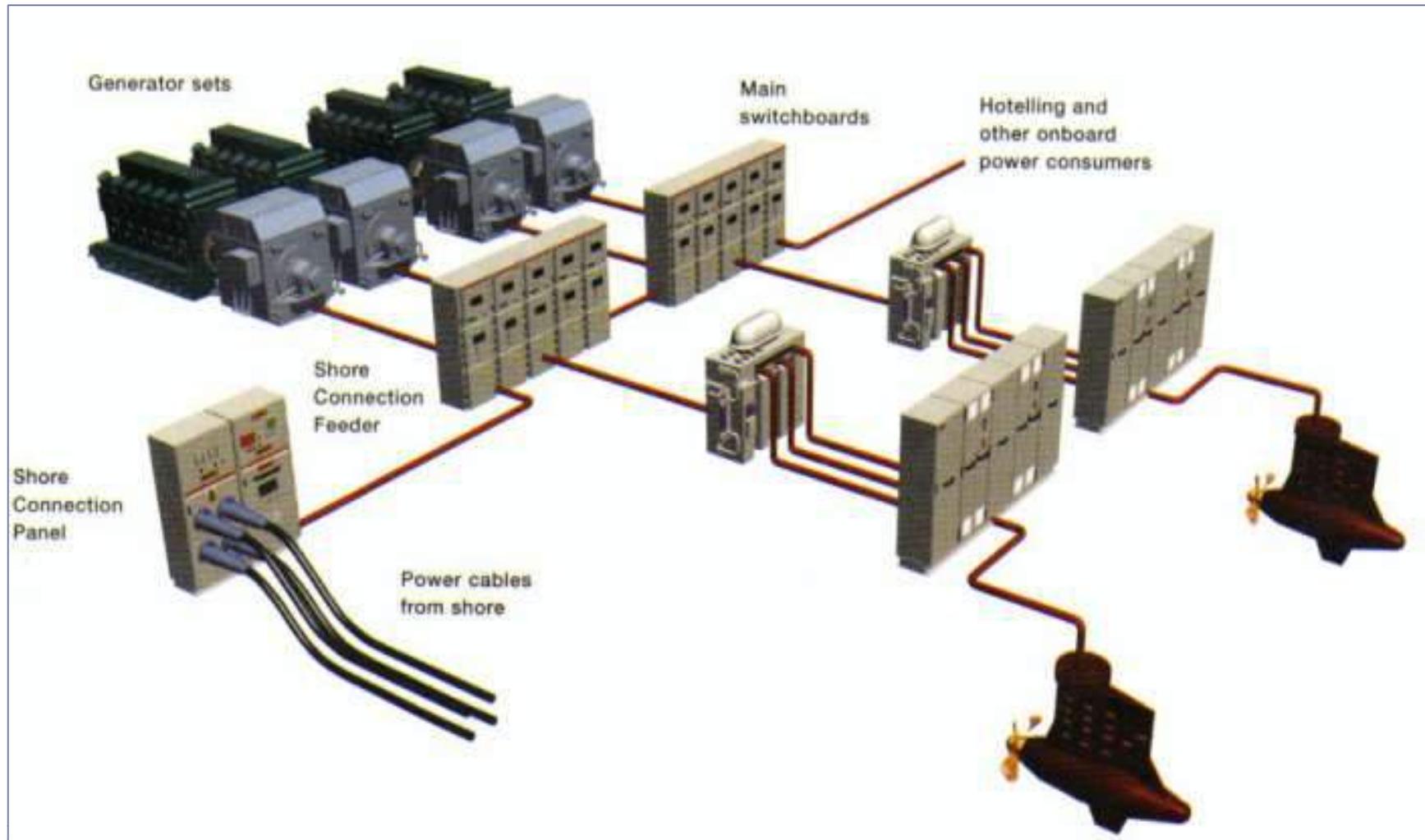
# Ejemplo de infraestructura **en Puerto** para suministro de electricidad a Buques desde subestaciones en Tierra



# Conexión típica para suministro eléctrico en B.T. en un **buque** Ro-Pax, con Propulsión convencional



# Conexión típica para suministro eléctrico en M.T. en un **buque** de crucero grande, con Propulsión DF/DE



# Como afecta a la Central de Generación que alimentan las subestaciones de suministro eléctrico en puerto

---

- ▶ Se pueden reducir significativamente las emisiones generadas por los buques atracados en puerto, si se les suministra la energía eléctrica desde subestaciones en puerto.
  - ▶ Es necesario realizar infraestructuras en Puerto y también hay que instalar equipos a bordo de los buques para poder realizar la conexión eléctrica desde las subestaciones de puerto al buque.
  - ▶ La demanda de potencia en puerto va a aumentar sensiblemente y lo que es más importante, el perfil de esta demanda puede tener unos picos de demanda de potencia elevados, dependiendo del tráfico y tipo de buques que contraten este servicio en el puerto.
  - ▶ Por lo anterior es necesario realizar un análisis de la Capacidad de Carga de la Red Nacional de Distribución Eléctrica para asegurar que puede suministrar la demanda eléctrica en cualquier situación, sin que afecte a la estabilidad y seguridad de suministro eléctrico.
  - ▶ En general, una infraestructura en puerto de este tipo, implica **que haya que replantear también la configuración de la Central de Generación**, en varios aspectos:
    - ▶ - **Aumento de la Potencia Eléctrica en la Central** para abastecer las subestaciones en Puerto
    - ▶ - La potencia nominal de cada uno de los grupos generadores de la Central, para poder tener **flexibilidad para adaptarse a la potencia eléctrica demandada** en cada momento.
    - ▶ - La **flexibilidad en el combustible que utilicen los motores** o turbinas de los grupos generadores de la Central de Generación, sobre todo, **si se quiere reducir la Huella Ecológica en el entorno portuario, los motores y turbinas deben utilizar GNL como combustible.**
- 



# La utilización de Gas Natural en las Centrales de Generación Eléctrica en el entorno del Puerto, es la clave para mejorar la Eficiencia Global y reducir la Huella Ecológica.

- ▶ Utilizar GAS NATURAL o GNL como combustible en la Central de Generación es una solución SOSTENIBLE Y RENTABLE, basada en una Tecnología probada, para conseguir una menor Huella Ecológica en el entorno portuario, porque :
  - ▶ A) **Tiene un impacto ambiental mucho menor,**
  - ▶ B) **Económicamente es rentable,** pues el coste GNL es menor que el coste DO/HFO

## EMISSION & NOISE REDUCTION

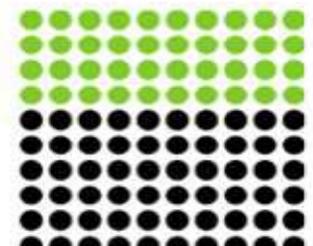
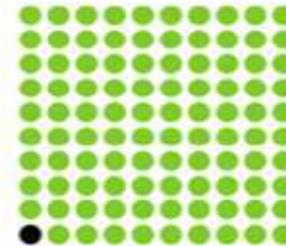
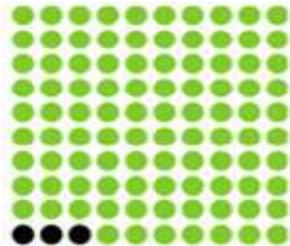
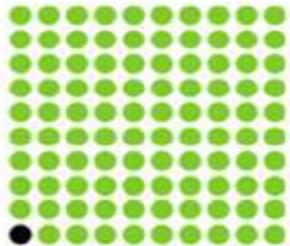
99% LESS  
**SO<sub>x</sub>**

97% LESS  
**NO<sub>x</sub>**

40% LESS  
**CO<sub>2</sub>**

99% LESS  
PARTICLES

40 % LESS  
NOISE



# Una solución de futuro para mejorar la Eficiencia y reducir la Huella Ecológica en el entorno portuario

---

- ▶ La utilización de GNL en Buques con plantas equipadas con Motores Dual Fuel y la necesidad de utilizar también este combustible en la ampliación de las Centrales de Generación próximas a los Puertos, para poder suministrar la energía eléctrica a los buques desde subestaciones en puertos, ha incentivado la realización de **infraestructuras para suministro, almacenamiento y regasificación de GNL en Puertos y en Islas, pero de mucho menor tamaño** que las terminales típicas de GNL.
- ▶ Una solución de futuro que se está aplicando es utilizar **Barcazas para el almacenamiento y la regasificación de GNL**, en el Puerto para suministrar Gas Natural a la Central de Generación Eléctrica en Puerto y además **complementarlo con la infraestructura para suministrar energía eléctrica a los buques y también a la propia barcaza de almacenamiento y regasificación de GNL**.
- ▶ Hoy existen muchas Centrales de Generación en zonas costeras e islas, muy contaminantes y con una huella ecológica muy elevada porque están basadas en Motores Diesel quemando HFO y en Turbinas de Gas quemando DO, de potencias entre 100 MW y 500 MW y estas configuraciones:
  - ▶ Hasta 200 MW con Motores Diesel quemando HFO, y entre 20 y 50 MW por motor.
  - ▶ Hasta 500 MW con Turbinas de Gas quemando GN o Diesel y entre 35 y 70 MW por turbina.
- ▶ Muchas de estas Centrales se podrían ampliar su potencia y **adaptar los Motores Diesel y las Turbinas de Gas para transformarlos en máquinas DUAL/FUEL** y así poder consumir Gas Natural, obteniendo una mejora muy importante en el coste del kWh generado porque el GN es más barato y en la huella ecológica porque el GN es mucho menos contaminante.



# Esquema de cadena de suministro de GNL a Centrales de Generación y suministro de electricidad a Buques



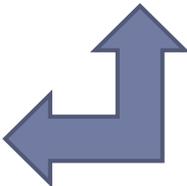
Suministro de GNL



Barcaza de Almacenamiento GNL y Regasificación



Central Generación Motores Dual Fuel



Suministro Eléctrico a Buques y Barcaza GNL



# Conclusiones

- ▶ El suministro de energía eléctrica a buques para que paren sus grupos generadores reduce mucho las emisiones contaminantes en el entorno portuario.
- ▶ Son necesarias infraestructuras en Puerto y también hay que instalar equipos a bordo de los buques para poder realizar la conexión eléctrica desde el puerto al buque.
- ▶ La demanda de potencia en puerto va a aumentar sensiblemente y el perfil de esta demanda puede tener unos picos de potencia elevados, dependiendo del tráfico y tipo de buques.
- ▶ Si se quiere reducir significativamente la Huella Ecológica en el entorno portuario y mejorar la eficiencia, es imperativo la utilización de GNL como combustible en las Centrales de Generación para poder suministrar la demanda eléctrica en cualquier situación, sin que afecte a la estabilidad y seguridad de suministro eléctrico.
- ▶ Por ello se están realizando infraestructuras para suministro, almacenamiento y regasificación de GNL en Puertos y en Islas, pero de **menor tamaño** que las terminales típicas de GNL.
- ▶ Una solución rápida y de menos inversión para disponer de GNL en puerto es utilizar Barcazas para el Almacenamiento y Regasificación de GNL, en el Puerto, que suministren Gas Natural a la Central de Generación Eléctrica equipada con Motores o Turbinas de Gas Dual Fuel y la energía eléctrica generada alimente toda la infraestructura para suministrar energía eléctrica a los buques y también a la propia barcaza de almacenamiento y regasificación de GNL.
- ▶ Esta combinación va a conseguir una reducción muy importante de la Huella Ecológica en el entorno Portuario y también en el de la Central de Generación y un sensible mejora en la Eficiencia Global, que va a disminuir el coste de la energía eléctrica generada

