

Jornada sobre Electrificación de los puertos: Proyectos en desarrollo

5 de junio de 2023

Metodología reducida para el cálculo de inversiones portuarias en OPS Juan Alonso Salvador

Ingeniero Superior de Minas y Energía, especialidad de Energía y Combustibles (UPM). Con un Master basado en Proyecto y Construcción de Infraestructuras Eléctricas de Alta Tensión (UPCO).

Ha desarrollado su carrera profesional en el sector energético, trabajando en Endesa y REE, incorporándose a ISDEFE en 2017 trabajando en proyectos de infraestructuras eléctricas en entornos portuarios, tanto en el ámbito civil como militar. Principalmente relacionados con energías renovables y suministro eléctrico a buque (OPS).

Actualmente dedicado principalmente a la Definición e Implantación de la Estrategia de Transición Energética de Puertos del Estado y al Plan de Electrificación de Muelles del Puerto de Barcelona.



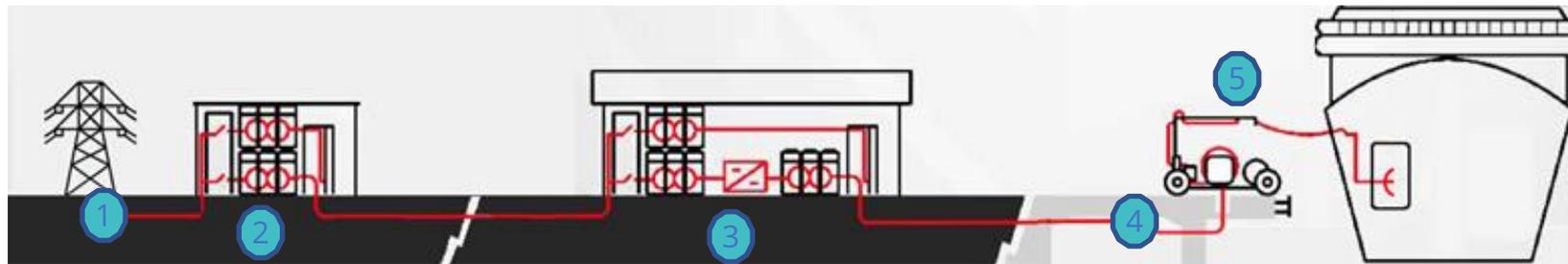
Metodología reducida para el cálculo de inversiones portuarias en OPS.

- OPS como solución para descarbonización.
- Reto del sistema portuario.
- Primera aproximación de las necesidades Energéticas y Estimación Económica.





OPS como Solución para Descarbonización



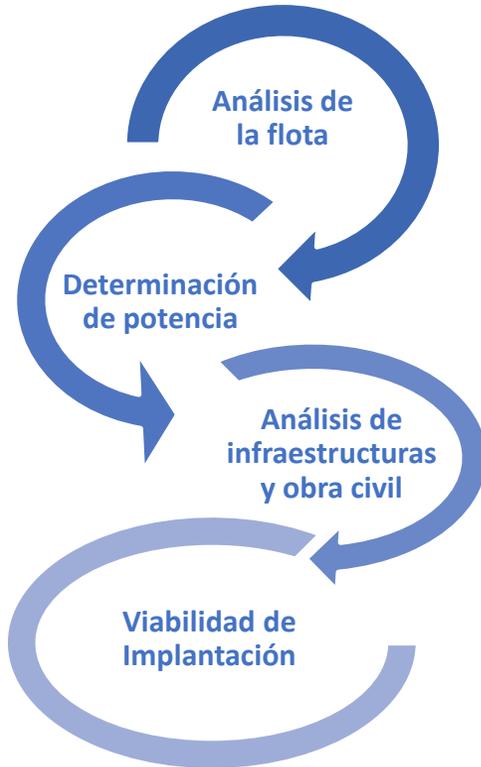
Requisitos IEC 80.005-1

- Tensión 6,6 kV o 11 kV
- Frecuencia 50/60 Hz
- Potencia Máx: Hasta 16 MVAs

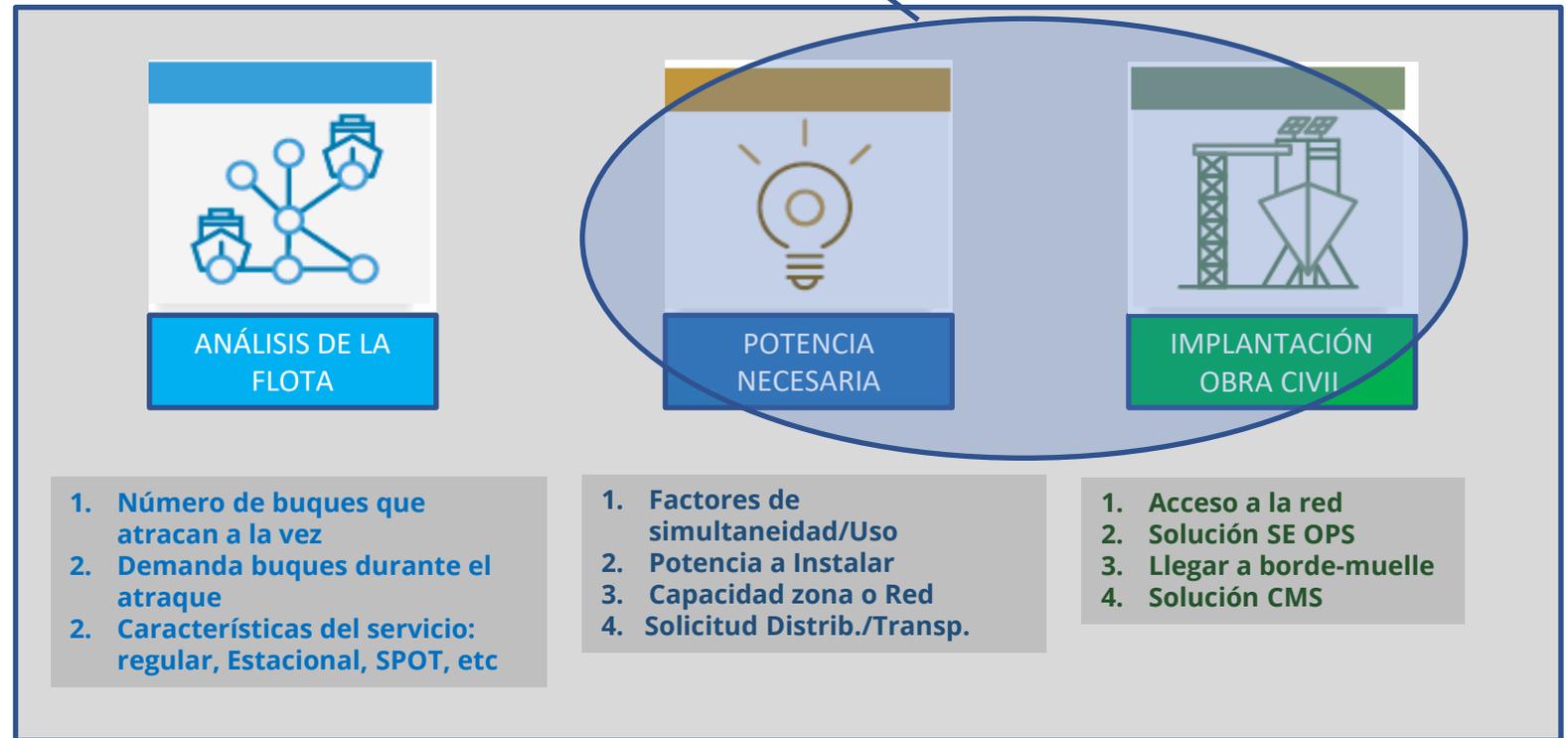
- 1 Red de Distribución : 20/25/30/66 kV y 50 Hz
- 2 Punto **frontera Distribuidora-Cliente**. Centro Seccionamiento y Medida
- 3 Subestación **OPS: Paso de 25 kV a 6,6/11 kV. Paso de 50 Hz a 60 Hz.** Sistema de control.
- 4 Cajas de conexión
- 5 Sistema de gestión de cable.

Utilización de la tecnología OPS (“Onshore Power Supply”) para el uso de energía eléctrica de, es su caso, origen renovable en los buques atracados.

Reto del sistema portuario



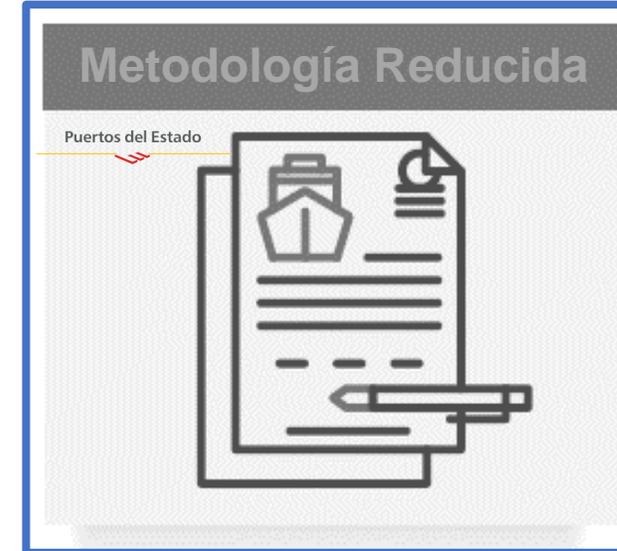
RETOS





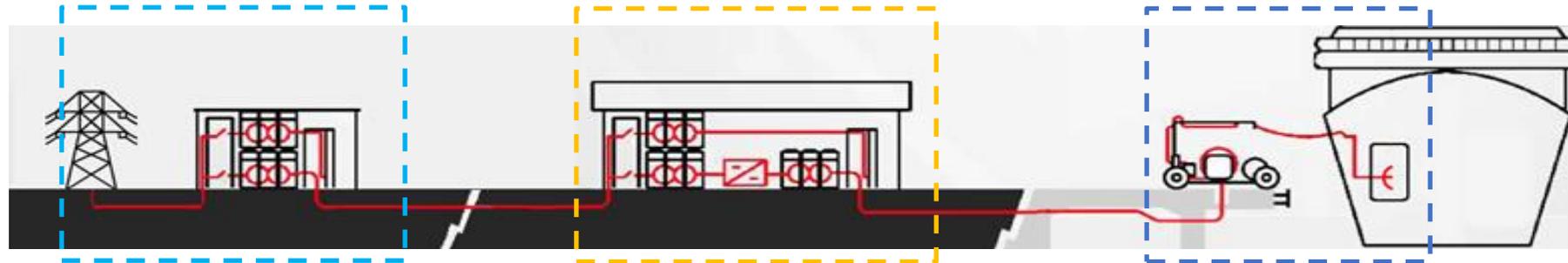
Primera aproximación de las necesidades Energéticas y Estimación Económica.

- Premisas de diseño.
- Caso practico
 - ◆ Simultaneidad y potencia.
 - ◆ Obra civil y elementos auxiliares
 - ◆ Conexión con la distribuidora





Premisas de diseño



CONEXIÓN A LA RED DE DISTRIBUCIÓN O TRANSPORTE

- Niveles de potencia requeridos son muy elevados.
- Red eléctrica portuaria no dispone de suficiente capacidad.
- Aspecto con impacto en plazo y presupuesto importante.
- Planteamiento según escenario final.
- Gran impacto económico. Puede afectar a la viabilidad del proyecto OPS.

SUBESTACIÓN OPS

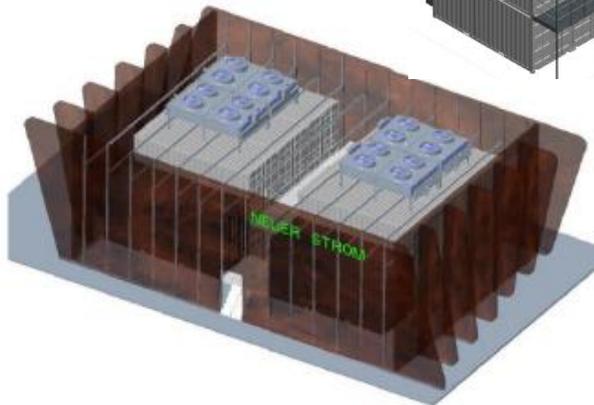
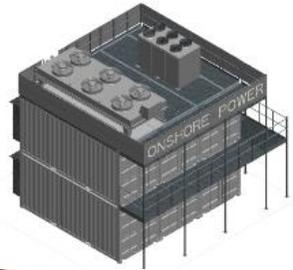
- Solución modular, móvil y ampliable. Utilización de contenedores.
- Sistema por etapas de potencia, ampliable y acoplable, normalizadas a 4 MVAs - 6,6 / 11 kV – 50 / 60 Hz.
- Subestación OPS preferiblemente centralizada por terminales. Flexibilidad para cambiar configuraciones.
- Ejecución en fases según la evolución de los buques adaptándose al OPS.
- Aislamiento galvánico entre buques.

SISTEMA DE GESTIÓN DE CABLE Y CONEXIÓN

- Soluciones coordinadas entre obra civil y CMS
- Solución Flexible. Suministrar distintos buques
- Primar soluciones lo más automáticas posibles
- Soluciones compatibles con la operativa de la terminal
- Soluciones seguras.



Premisas de diseño: Subestación OPS



PONER EN VALOR LA EXPERIENCIA DE FABRICANTES E INTEGRADORES ESPECIALIZADOS

Fácil logística

- Producto normalizado .
- Medidas estandarizadas simplifican el transporte y la rápida instalación.

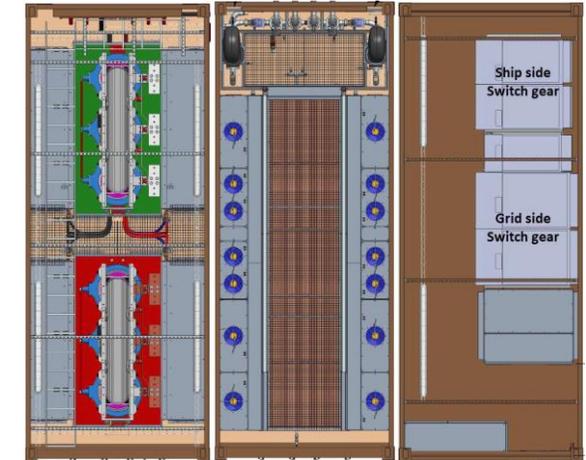
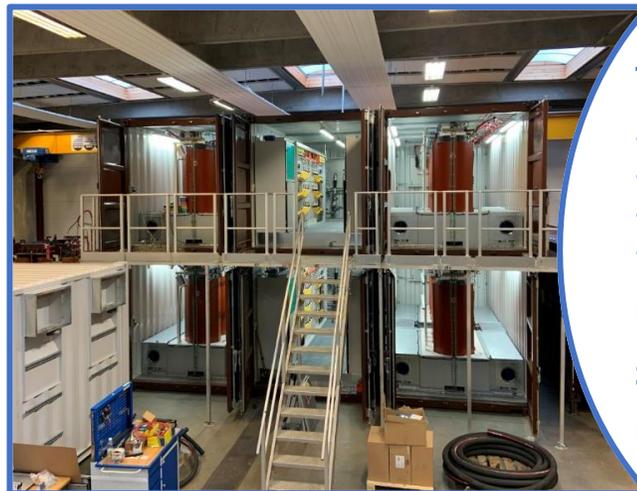
Adaptabilidad

- Escalabilidad modular.
- Sencilla adaptación estética

Robustez

- Ambiente controlado de trabajo de los componentes.
- Reducido mantenimiento
- Seguridad eléctrica y de incendios.

Facilita implantación



Totalmente integrado y ensayado en fábrica.

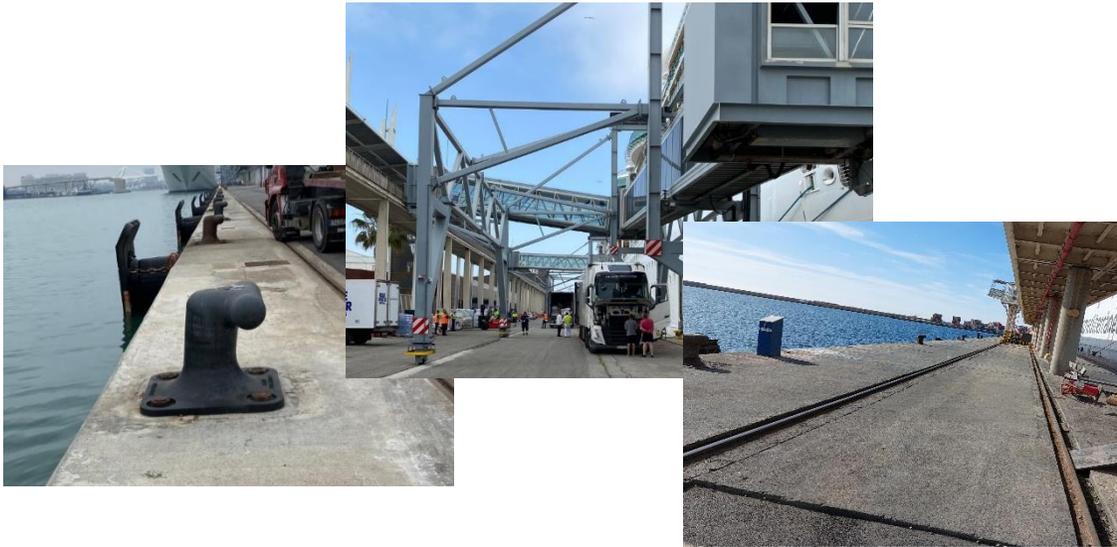
- Elementos homologados en conjunto
- Verificación a potencia nominal
- Escenarios de conexión de buques
- Comprobación de Alarmas

Riesgos de Proyecto minimizados

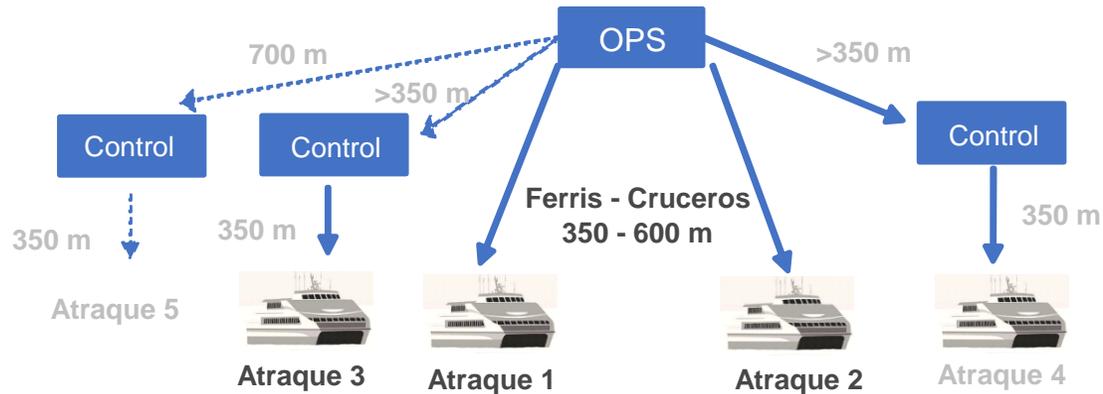
Sencilla puesta en marcha

Mantenimiento

Premisas de diseño: Obra civil.



Flota	Zanja Mínima
Ferris	1 tubo media tensión 1 tubo baja tensión 1 tubo control /comunicaciones
Portacontenedores	2 tubos media tensión 1 tubo control /comunicaciones
Cruceros	4 tubos media tensión 1 tubo baja tensión 1 tubo control /comunicaciones





Premisas de diseño: Cajas de conexión y Sist. Gestión Cables.



CAJA DE CONEXIÓN SUPERFICIAL

Flota	Nº Cajas
Ferris	1 - 2
Portacontenedores	2 - 3
Cruceros	3-4



CAJA DE CONEXIÓN SOTERRADA

Flota	Ubicación	Características
Ferris	En tierra	Fijo, tipo grúa o bobina estacionaria (alcance horizontal limitado) o de tipo móvil, con ruedas motrices capaces de desplazarse por el muelle.
Cruceros	En tierra	
Portacont.	En buque	Bonina móvil horizontal.



BOBINADO HORIZONTAL + GRÚA VERTICAL MOVILES



BOBINADO HORIZONTAL MÓVIL



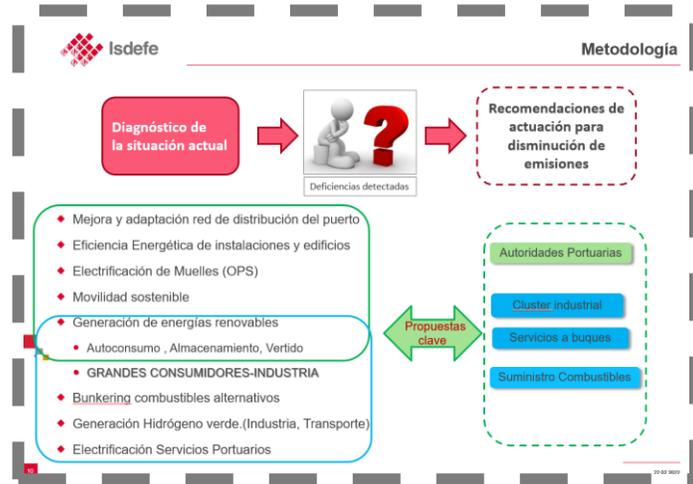
CAJA DE CONEXIÓN MOVILES



OTRAS SOLUCIONES



Premisas de diseño: Conexión con la distribuidora



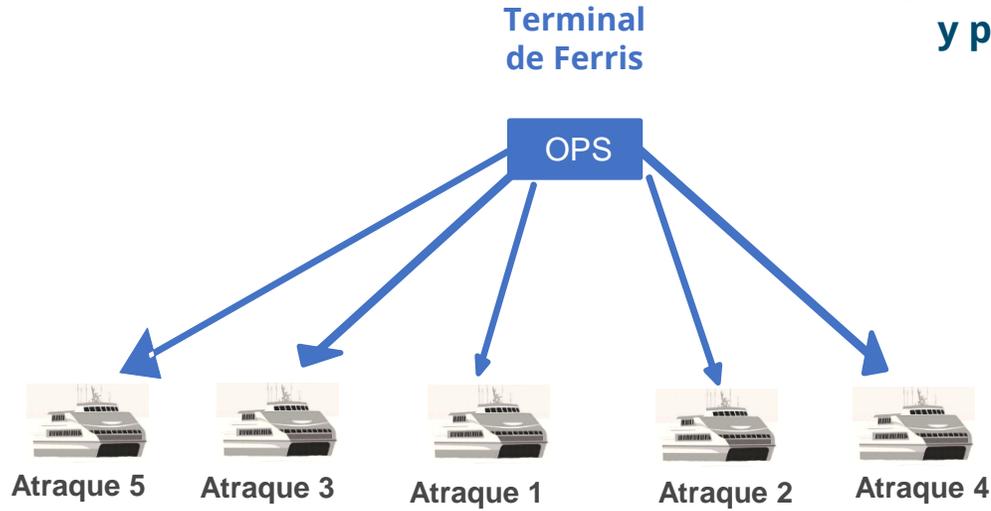
CONEXIÓN DIRECTA CON LA RED DE DISTRIBUCIÓN

- Instalaciones antiguas, incluso no sujetas a normativa
- Niveles de potencia requeridos son muy elevados.
- Red eléctrica portuaria no dispone de suficiente capacidad.
- Impacto de electrificación directa/ Infraestructuras Power to X en el nuevo modelo de transición energética:
 - Sustitución de combustibles fósiles- Movilidad
 - Sustitución combustibles fósiles - Industria

Potencia instalada	Consideraciones
< 3 MW	Potencia disponible en la red de MT la zona, servicio con derivación de línea a nuevo centro de seccionamiento y medida
3- 13 MW	Nueva posición en una subestación de distribución de MT cercana y ampliar la red de media tensión existente
> 13 MW	se requerirá ampliar posición en subestación existente en la red transporte o de distribución en alta tensión y generalmente habrá que construir una subestación propia de alta tensión a media tensión.

Caso practico

Simultaneidad y potencia



Buque medio mayor de 180 m de eslora

Suministro a 11 kV; 50 - 60 Hz

Tipo de Tráfico	Potencia Transformador cada Etapa	Unidad Mínima Atraque	Unidades cumplimiento IEC 80.005
Ferris	3,5 MVAs	1 Etapa	2 Etapas en Paralelo
Portacontenedores	4 MVAs	1 Etapa	2 Etapas en Paralelo
Cruceros	4 MVAs	4 Etapas en Paralelo	4 Etapas en Paralelo

Etapas de potencia por tipo de tráfico

Nº Atraques	1	2	3	4	5	6	7
Etapas Ferris	1*	2	2	2	3	3	3
Etapas Portacontenedores	1	2	2	2	3	3	3
Etapas Cruceros	1*	1	2	2	3	3	3

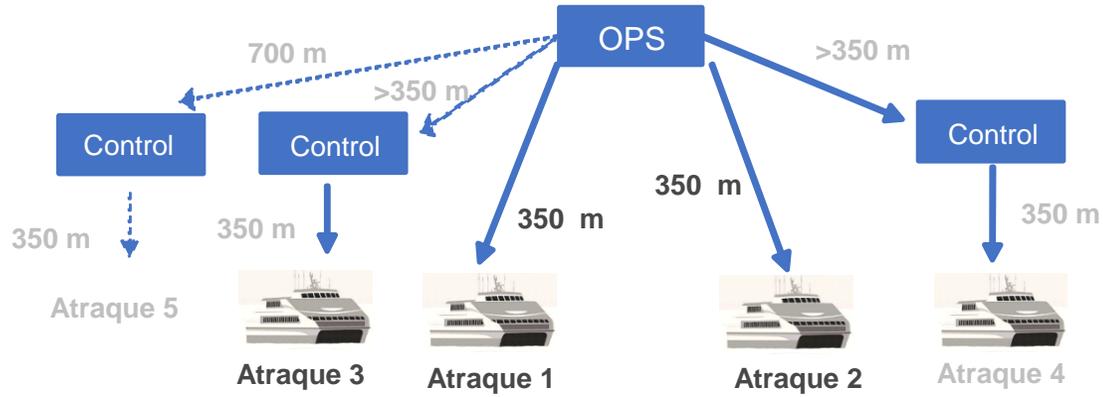
Simultaneidad por instalación

Nº Atraques	1	2	3	4	5	6	7
Ferris	3,5 MVA	7 MVA	7 MVA	7 MVA	10,5 MVA	10,5 MVA	10,5 MVA
Portacontenedores	4 MVA	8 MVA	8 MVA	8 MVA	12 MVA	12 MVA	12 MVA
Cruceros	16 MVA	16 MVA	32 MVA	32 MVA	48 MVA	48 MVA	48 MVA

Potencia Instalada

CONEXIÓN CON LA RED DE DISTRIBUCIÓN: 8 MW

Obra civil y elementos auxiliares



RESUMEN
Aprox. 3.150 M de zanja
10 cajas de conexión superficiales (2 C/rampa)
3 centro de control para los atraques mas alejados
3 CMS móviles con brazo telescópico y carrete para desplazamiento horizontal (30 m)

		1	2	3	4	5	6	7
Ferris	Zanja	350	700	1.400	2.100	3.150	4.200	5.300
	Centro de control	-	-	1	2	3	4	5
	Cajas Conexión	1-2	2-4	3-6	4-8	5-10	6-12	7-14
	CMS	1	1	2	2	3	3	3
Portacontenedores	Zanja	500	1.000	2.000	3.000	4.500	6.000	8.000
	Centro de control	-	-	1	2	3	4	5
	Cajas Conexión	2-3	4-6	6-9	8-12	10-15	12-18	14-31
	CMS	1	1	2	2	3	3	3
Cruceros	Zanja	600	1.200	2.400	3.600	5.400	7.200	9.600
	Centro de control	-	-	1	2	3	4	5
	Cajas Conexión	3-4	6-8	9-12	12-16	15-20	18-24	21-28
	CMS	1	1	2	2	3	3	3



Estimación inversión OPS

Estimación Económica

CONEXIÓN CON LA DISTRIBUIDORA	
Pot. instalada	Inversión
< 3 MW	Derivación y CS $\approx 0,25 \text{ M€} + 0,5 \text{ M€/km zanja}$
3- 13 MW	Adaptación SE (25/30 KV) $\approx 0,4 - 0,9 \text{ M€} + 0,5 \text{ M€/km zanja}$
> 13 MW	Adaptación SE (66/132 kV) $\approx 0,6 - 1 \text{ M€} + 0,5 \text{ M€/km zanja}$ Nueva SE aire/GIS 2,5/6 M€ + 0,5 M€/km zanja

2,9 M€

SUBESTACIÓN OPS							
0,4 M€/MVA instalado 0,1 M€ atraque adicional							
Flota	1	2	3	4	5	6	7
Ferris	1,4	2,9	3	3,1	4,6	4,7	4,8
Portacontenedores	1,6	3,3	3,4	3,5	5,2	5,3	5,4
Cruceros	6,4	6,5	13	13,1	19,6	19,7	19,8

Obra civil Subestación OPS – Caja de Conexión

Tipo Ferri	200 €/m*	Centro de control: 0,1 M€/Un
Tipo Portac.	400 €/m*	
Tipo Crucero	640 €/m*	

*Incluso cableado

Flota	1	2	3	4	5	6	7
Ferris	0,077	0,154	0,408	0,662	0,993	1,324	1,666
Portacontenedores	0,2	0,4	0,9	1,4	2,1	2,8	3,7
Cruceros	0,384	0,768	1,636	2,504	3,756	5,008	6,664

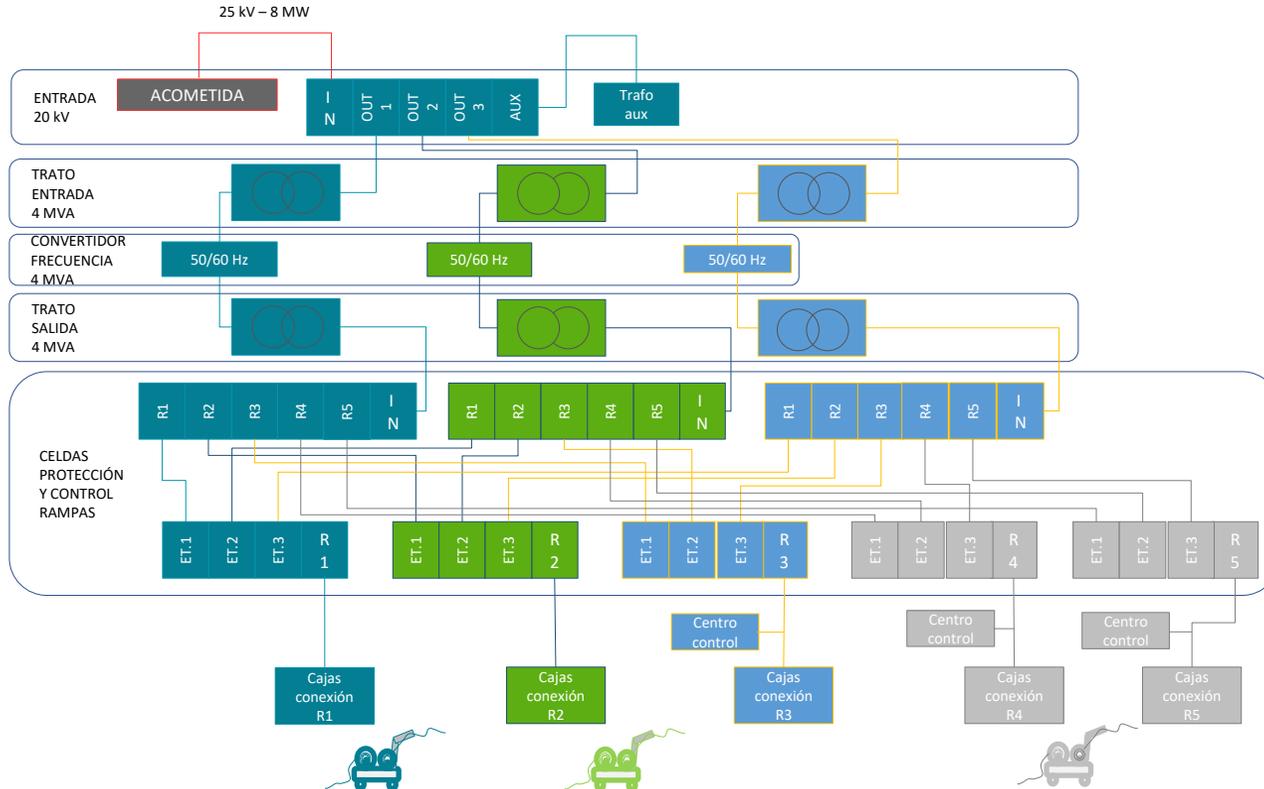
Cajas de conexión y CMS

Tipo Ferri	0,7 M€/m	Caja de conexión: 0,05 M€/Un
Tipo Portac.	0,25 M€/m	
Tipo Crucero	1,2 M€/m	

Flota	1	2	3	4	5	6	7
Ferris	0,8	0,9	1,7	1,8	2,6	2,7	2,8
Portacontenedores	0,4	0,55	0,95	1,1	1,5	1,65	1,8
Cruceros	1,4	1,6	3,0	3,2	4,6	4,8	5,0



Resumen Estimación de potencia y económica



RESUMEN		
Concepto	Alcance	Inversión
Conexión distribuidora	8 MW - Nueva posición a aprox. 4 km	2,9 M€
Subestación OPS	3 etapas de 3,5 MVA para 5 rampas	4,6 M€
Obra civil terminal	3.150 m de zanja	0,693 M€
Centro de Control	3 contenedores (sist. control, protec. secc de tierra, etc)	0,3 M€
Cajas de conexión	10 (2 por rampa)	0,5 M€
Sistema de Gestión de Cable	3 CMS móviles con brazo telescópico y carrete para desplazamiento horizontal	2,1 M€
TOTAL		11,093 M€



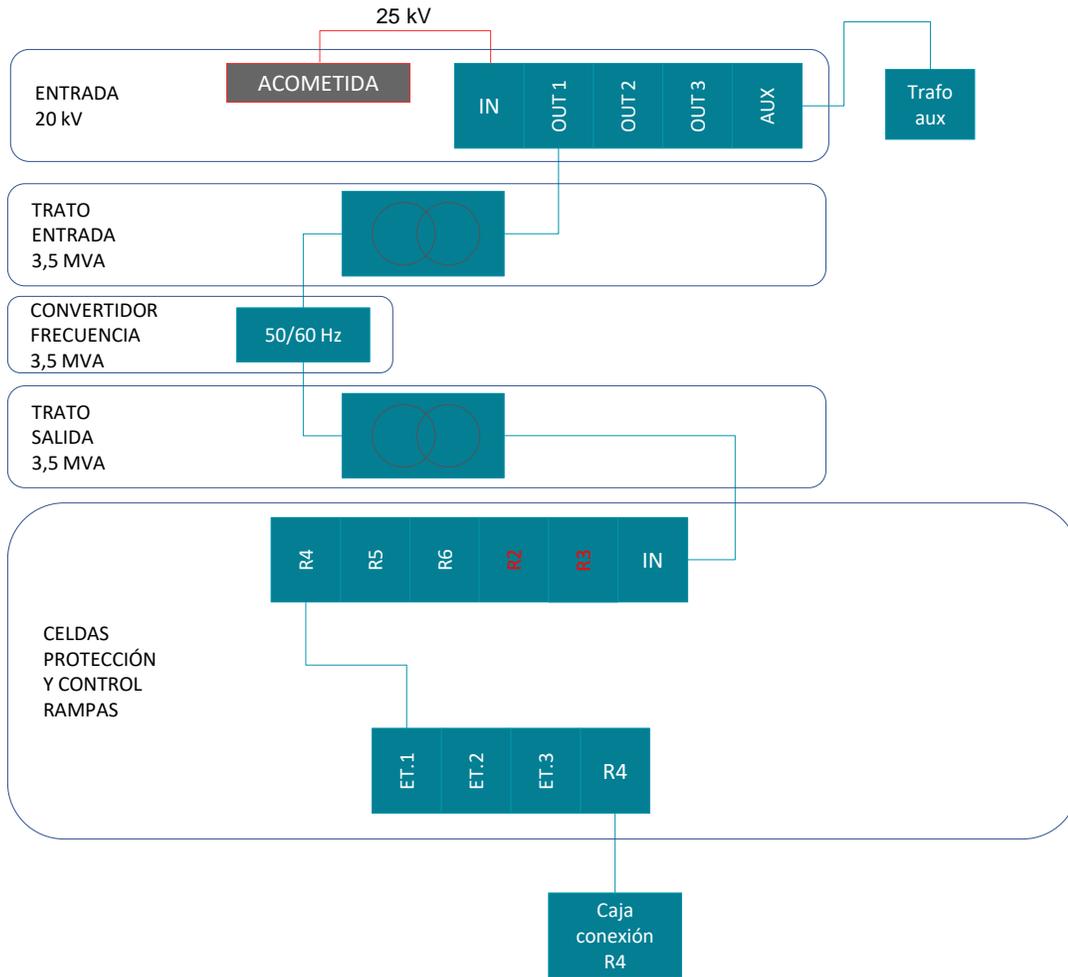
DÍA MUNDIAL DEL
MEDIOAMBIENTE
05 / JUN

Empresas participantes:



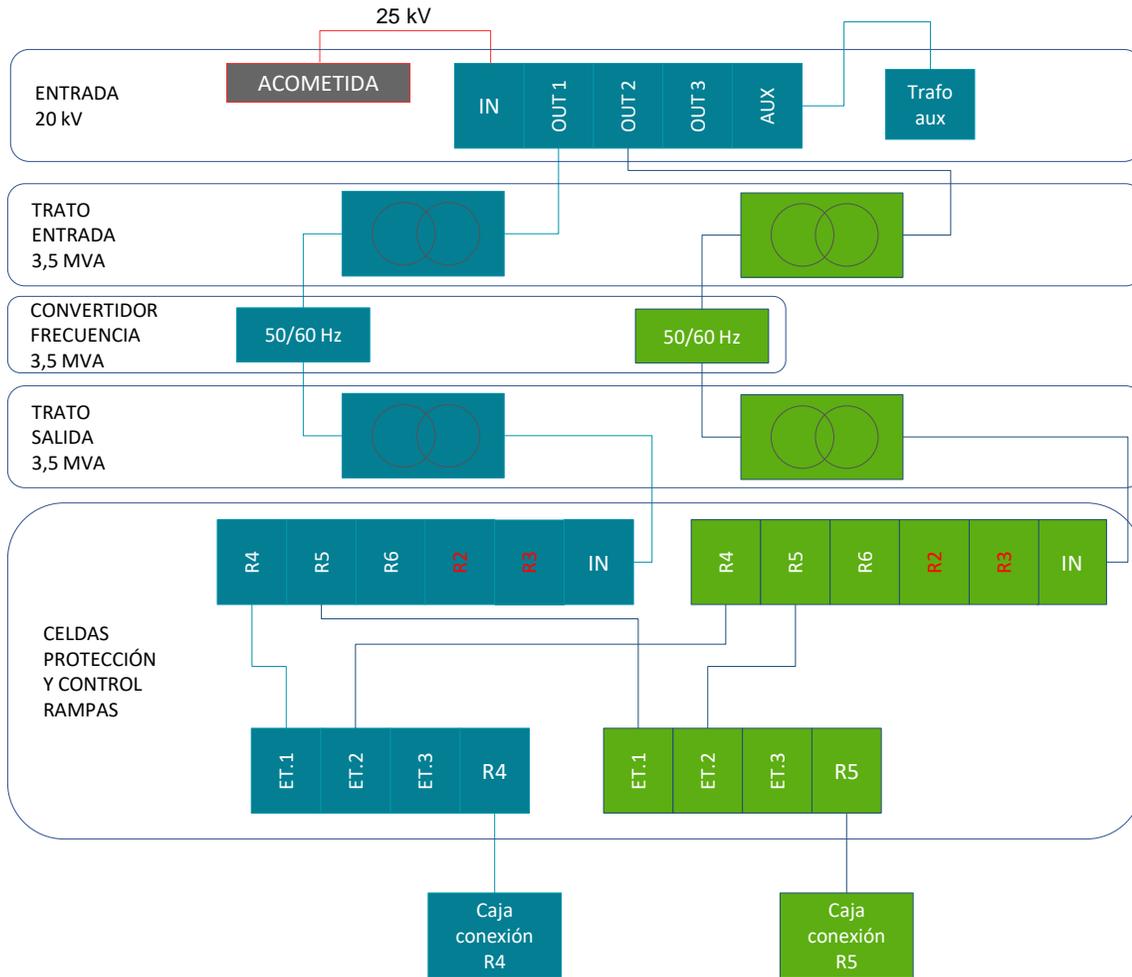


Planificación - Proyecto piloto



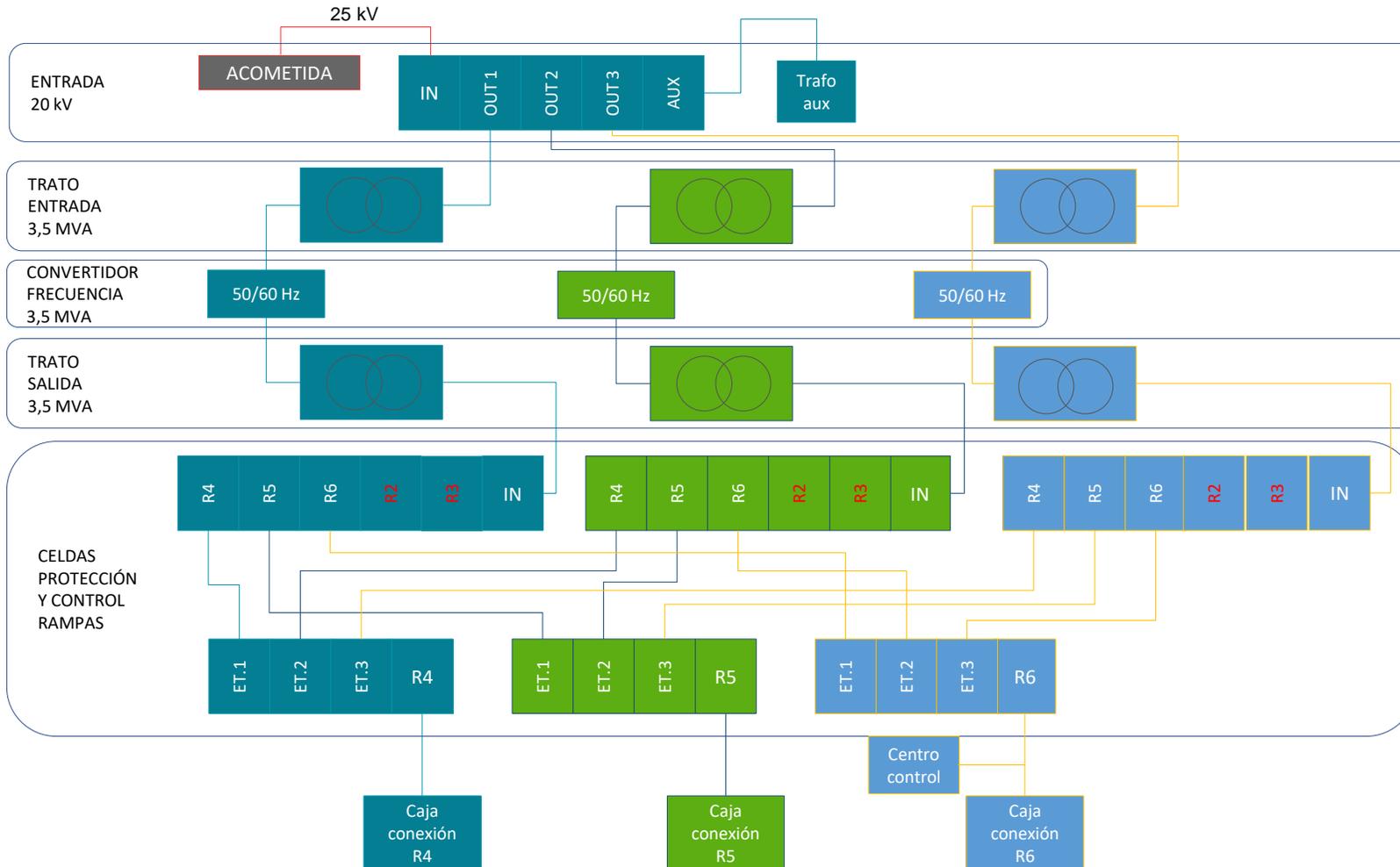


Planificación - Fase2



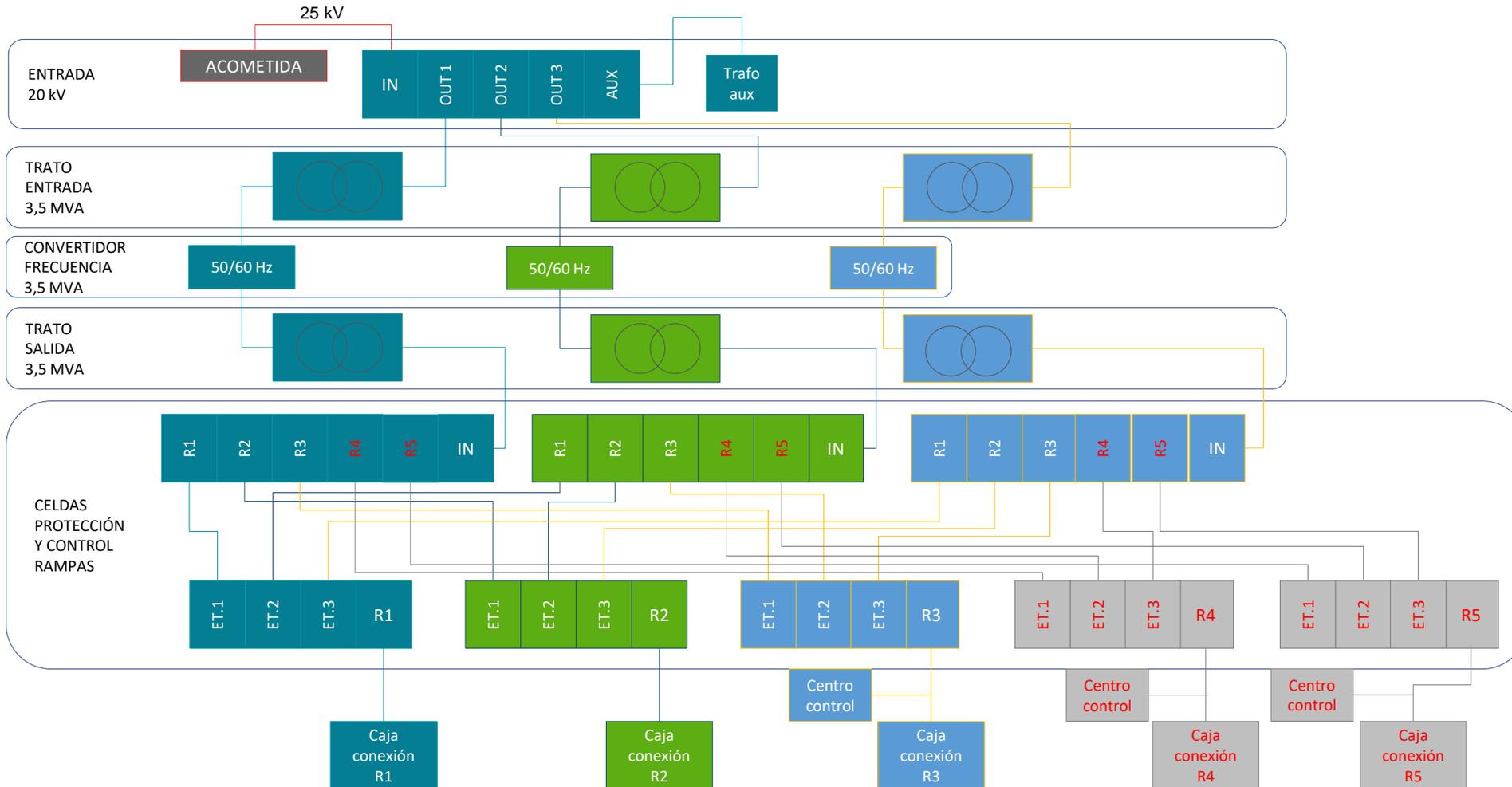


Planificación - Fase 3





Planificación - Fase 4





DÍA MUNDIAL DEL
MEDIOAMBIENTE
05 / JUN

Empresas participantes:



Análisis de flota y Estudio de simultaneidad.



Análisis de potencia buques

Tipo de Buque	Eslora (m)	Demanda Pico (kVA)
Portacontenedores	Todos	7.500
Ro-Ro / Ro-Pax	Todos	6.500
Cruceros	Todos	16.000

Potencia de diseño. IEC_80.0005-1

Tipo de Buque	Eslora (m)	Demanda Promedio (kW)	Demanda Pico (kW)	Demanda Pico 95% Buques (kW)
Portacontenedores	< 140	170	1.000	800
	>140	1.200	8.000	5.000
	Todos	800	2.000	4.000
Ro-Ro Ro-Pax	Todos	1.500	2.000	1.800
Cruceros	< 200	4.100	7.300	6.700
	> 200	7.500	11.000	9.500

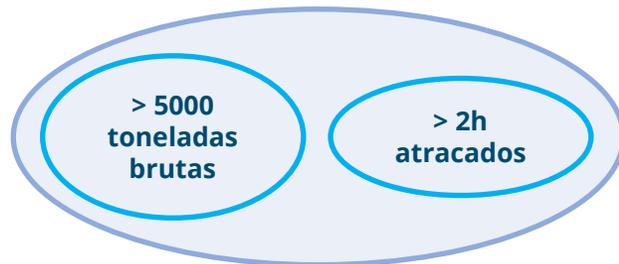
Requerimientos de potencia en el muelle. Fuente: WPSP



Monitorización real de consumos.



Determinación de escalas



- no programadas por motivos de seguridad o de salvamento
- buques que utilicen tecnologías de emisión cero

Obligatoriedad	
Tipo de Buque	Escalas
Portacontenedores	> 100
Ro-Ro / Ro-Pax	> 40
Cruceros	> 25
Dimensionamiento	
Nivel de servicio > 90 %	



Muelle - hora	Horas Atracado	Columna1	Fecha Atraque Ajustada	Fecha Desatraque ajustada	Muelle Real	Fecha Atraque Real	Fecha Desatraque Real	Buque	Buque GT
	743	43101,00	01/01/2018 0:00	31/01/2018 23:00		01/01/2018 0:01	31/01/2018 23:59		4662
	743	43101,00	01/01/2018 0:00	31/01/2018 23:00		01/01/2018 0:01	31/01/2018 23:59		4859
	17	43101,29	01/01/2018 7:00	02/01/2018 0:00		01/01/2018 7:50	02/01/2018 0:00		11032
	4	43101,38	01/01/2018 9:00	01/01/2018 13:00		01/01/2018 9:30	01/01/2018 13:25		13505
	3	43101,58	01/01/2018 14:00	01/01/2018 17:00		01/01/2018 14:55	01/01/2018 17:00		
	5	43102,29	02/01/2018 7:00	02/01/2018 12:00		02/01/2018 7:40	02/01/2018 12:00		
	3	43102,83	02/01/2018 20:00	02/01/2018 23:00		02/01/2018 20:50	02/01/2018 23:55		
	3	43102,92	02/01/2018 22:00	03/01/2018 1:00		02/01/2018 22:50	03/01/2018 1:15		
	6	43103,29	03/01/2018 7:00	03/01/2018 13:00		03/01/2018 7:15	03/01/2018 13:05		
	3	43103,83	03/01/2018 20:00	03/01/2018 23:00		03/01/2018 20:45	03/01/2018 23:55		
	6	43104,25	04/01/2018 6:00	04/01/2018 12:00		04/01/2018 6:55	04/01/2018 12:05		
	64	43104,33	04/01/2018 8:00	07/01/2018 0:00		04/01/2018 8:20	07/01/2018 0:10		
	3	43104,83	04/01/2018 20:00	04/01/2018 23:00		04/01/2018 20:50	04/01/2018 23:55		
	2	43105,25	05/01/2018 6:00	05/01/2018 8:00		05/01/2018 6:15	05/01/2018 8:00		
	5	43105,29	05/01/2018 7:00	05/01/2018 12:00		05/01/2018 7:00	05/01/2018 12:15		
	4	43105,29	05/01/2018 7:00	05/01/2018 11:00		05/01/2018 7:55	05/01/2018 11:05		
	4	43105,79	05/01/2018 19:00	05/01/2018 23:00		05/01/2018 19:50	05/01/2018 23:50		916
	5	43106,25	06/01/2018 6:00	06/01/2018 11:00		06/01/2018 6:00	06/01/2018 11:00		308
	5	43106,29	06/01/2018 7:00	06/01/2018 12:00		06/01/2018 7:25	06/01/2018 12:00		13505
	3	43106,87	06/01/2018 21:00	07/01/2018 0:00		06/01/2018 21:15	07/01/2018 0:00		26316
	5	43107,29	07/01/2018 7:00	07/01/2018 12:00		07/01/2018 7:50	07/01/2018 12:10		13505
	4	43107,83	07/01/2018 20:00	08/01/2018 0:00		07/01/2018 20:50	08/01/2018 0:00		40000

¿Número Buques?
 ¿Potencia unitaria?
 ¿Cuánto tiempo?
 ¿90% de nivel de servicio?
 ¿Simultaneidad?
 ¿Potencia total?



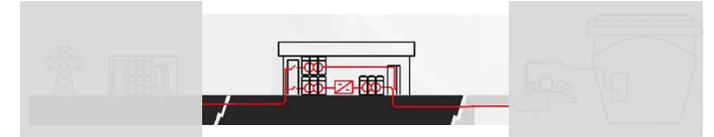
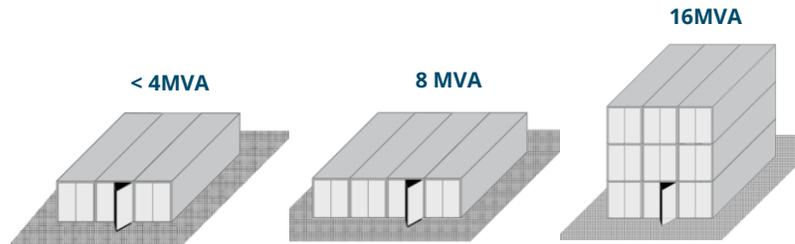
Rango potencia (kW)	Buques	% potencia rango	% acumulado potencia
12000-14000	≥4	1%	99%
10000-12000		2%	99%
8000-10000	3-4	5%	96%
6000-8000		20%	91%
5000-6000	2-3	9%	71%
4000-5000		9%	62%
3000-4000	1-2	19%	53%
2000-3000		8%	35%
1000-2000		12%	27%
0-1000	1	15%	15%

Aspectos técnicos de las instalaciones.





Subestación OPS.



Aparamenta



- Motorización y control en remoto.
- Características técnicas: amb. marino, IP \geq 3X; Vent. Forzada.
- Aislamiento SF6/Vacío

Transformadores



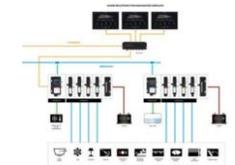
- Adaptación de la tensión de la red a la de trabajo del convertidor y aguas abajo a la red de la embarcación (Aislamiento galvánico).
- Seco o Ester vegetal
- Preferible ventilación forzada
- Importante factor eficiencia y regulación en carga .
- Diseño acorde al convertidor, comp. Armónica
- Sensores PT100. Calentamiento

Convertidor de frecuencia



- Adaptación frecuencia 50 - 60 Hz.
- Equipo tecnológicamente más avanzado, electrónicos (estáticos), elevado coste.
- Software de control propio
- Comunicación Sistema de Control.
- Refrigeración forzada aire o agua.
- IP \geq 3X; Eficiencia \geq 95%; Factor de potencia \geq 0,95; TSD \leq 3.
- Filtros de entrada y salida garantizar calidad de onda

Sistema de control



- Monitorización, coordinación y control de equipos, parámetros de tensión, frecuencia
- Sincronización entre tierra y barco sin paso por cero.
- Control enclavamientos y aparamenta.
- Estudio de selectividad y protecciones.
- Motorización y control en remoto.
- Normativa IEC 80005-2
- Protocolo de comunicación común