

**Estudio de demanda eléctrica de
terminal APM portacontenedores en el
muelle Sur, Barcelona**

	NOMBRE	DIRECCIÓN/ DEPARTAMENTO	FIRMA Y FECHA
ELABORADO	J. M. HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ	DCPEG	
REVISADO	J. F. PORRAS DOMÍNGUEZ	DCPEG	
REVISIÓN DE CALIDAD	J.M. PALMA CAMARGO	DCPEG	
APROBADO	J. F. PORRAS DOMÍNGUEZ	DCPEG	

Este documento es propiedad de Isdefe. No podrá ser empleado para otro fin distinto de aquél para el que ha sido entregado. Tampoco podrá ser copiado ni transmitido en ninguna forma, total o parcialmente, sin autorización escrita del propietario.



REGISTRO DE CAMBIOS

NUEVA EDICIÓN	FECHA ELABORACIÓN NUEVA EDICIÓN	SECCIÓN AFECTADA	OBSERVACIONES

LISTA DE DISTRIBUCIÓN

Nº COPIA	DESTINATARIO	ORGANISMO/EMPRESA

1. OBJETO Y AALCANCE.....	1
1.1. Localización de la terminal portacontenedores objeto del estudio	1
2. METODOLOGÍA	1
3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	2
4. CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS	2
5. HIPÓTESIS DE PARTIDA	2
5.1. Evolución de atraques.....	2
5.2. Eslora mínima	3
5.3. Año de construcción.....	3
5.4. Potencia de motores auxiliares	3
5.5. Contenedores refrigerados.....	4
5.6. Curva de carga horaria de los buques en puerto.....	4
5.7. Dotación de tomas	4
5.8. Planificación de la instalación.....	4
5.9. Grado de implantación de la tecnología	4
6. ANÁLISIS DE ESCALAS	5
7. ANÁLISIS DE LA DEMANDA	5
7.1. Gestión de la conexión eléctrica de los buques atracados	5
7.2. Resultados	6
7.2.1. Fase A.1.	6
7.2.2. Fase A.2.	7
7.2.3. Fase B	9
8. CONCLUSIONES.....	10

FIGURAS

Figura 1. Puerto de Barcelona (Terminal APM, Muelle Sur)	1
Figura 2. Aproximación de la capacidad de carga de TEUs a partir de la eslora	3
Figura 3. Distribución de horas de conexión a Cold Ironing en la fase A.1	6
Figura 4. Distribución de simultaneidades en la fase A.1 por consumo	7
Figura 5. Distribución de horas de conexión a Cold Ironing en la fase A.2	8
Figura 6. Distribución de simultaneidades en la situación a fase A.2 por consumo	8
Figura 7. Distribución de horas de conexión a Cold Ironing en la fase B	9
Figura 8. Distribución de simultaneidades en la fase B por consumo	10
Figura 9. Evolución del consumo anual (MWh)	11

TABLAS

Tabla 1. Resumen de las escalas en 2017	5
Tabla 2. Evolución temporal de las escalas de Cold Ironing en función de las fases	5
Tabla 3. Tabla de estimación del consumo y de la potencia máxima en la fase A.1	6
Tabla 4. Tabla de estimación del consumo y de la potencia máxima en la fase A.2	7
Tabla 5. Tabla de estimación del consumo y de la potencia máxima en la fase B	9
Tabla 6. Resumen de consumos (MWh) por simultaneidades y fases	10
Tabla 7. Agregado de potencias (MW) por simultaneidades y fases	10

1. OBJETO Y ALCANCE

El presente documento recoge el estudio de demanda de energía eléctrica de acuerdo con el encargo entre Puertos del Estado y la Sociedad Mercantil Estatal Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España, S.A., S.M.E., M.P. (ISDEFE), para prestar asistencia técnica en el análisis de las necesidades de buques portacontenedores para la consecución de un sistema de suministro eléctrico a portacontenedores en determinadas terminales. Concretamente, este estudio está centrado en el suministro eléctrico a buques en la terminal APM de portacontenedores, situada en el muelle Sur del puerto de Barcelona, gestionado por la Autoridad Portuaria de Barcelona.

1.1. LOCALIZACIÓN DE LA TERMINAL PORTACONTENEDORES OBJETO DEL ESTUDIO

A continuación se muestra el emplazamiento de la terminal APM de portacontenedores situada en el muelle Sur (Barcelona) que será objeto del Estudio de Demanda.



Figura 1. Puerto de Barcelona (Terminal APM, Muelle Sur)

2. METODOLOGÍA

La metodología seguida para la realización del estudio de demanda consta de los siguientes pasos:

- Recopilación de información acerca de los atraques realizados por los buques portacontenedores a lo largo de 2017 en la terminal objeto de estudio.
- Análisis de metodologías para estimación del consumo de los motores auxiliares de los buques.
- Creación de una base de datos de buques, con toda la información requerida para estimar el consumo de sus motores auxiliares.



- Determinación de hipótesis de partida para la estimación del consumo de los buques.
- Determinación de fases para la planificación de la instalación.
- Cálculo de la demanda de energía eléctrica procedente de los buques portacontenedores en cada una de las fases establecidos.

3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Se estableció contacto, a través de Puertos del Estado, con la Autoridad Portuaria de Barcelona con el fin de obtener los datos de los atraques realizados a lo largo de 2017 por buques portacontenedores en la terminal objeto del estudio.

Se ha recibido de Puertos del Estado una base de datos de buques que contiene: IMO, MMSI, eslora, manga, calado, GT, TEUs, año de construcción y potencia de los motores principales.

Por otro lado, se estableció contacto con la empresa Becker Marine con el fin de solicitar información útil para el estudio. Han confirmado que actualmente están desarrollando un estudio para la implantación de su sistema *Power Pack* en las tres terminales de portacontenedores del Puerto de Valencia, pero no aportó información relevante para el presente estudio.

Por último, cabe destacar que los portacontenedores refrigerados continúan ganando cuota de mercado a los buques refrigerados especializados. Se prevé que esta tendencia se prolongue, en algunos estudios se afirma que los buques portacontenedores proporcionarán más del 94% del tonelaje total refrigerado en los próximos años. Por tanto, además de la potencia demandada por los motores auxiliares, durante la estancia en puerto de los buques portacontenedores es necesario atender la demanda de estos contenedores refrigerados. Por este motivo, se estableció contacto con ANAVE para contrastar las hipótesis de partida y obtener información útil para establecer las hipótesis relacionadas con los contenedores refrigerados.

4. CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS

En primer lugar, se ha generado una base de datos de buques portacontenedores recopilando toda la información posible: nombre del buque, IMO, dimensiones, capacidad de carga de TEUs, año de construcción, Gross Tonnage, potencia de los motores principales y tipo de buque (se detectó que parte de los buques que han atracado en las terminales objeto del estudio no son portacontenedores).

Esta base de datos se generó a partir de los datos facilitados por Puertos del Estado y de las tablas de atraques de las distintas Autoridades Portuarias en las que se han desarrollado estudios similares a este.

En algunos casos también se tomó información de la página web www.marinetraffic.com para completar parte de la información necesario para el estudio.

5. HIPÓTESIS DE PARTIDA

5.1. EVOLUCIÓN DE ATRAQUES

Únicamente se conocen los atraques que ha recibido la terminal en el año 2017, por lo que se toma como hipótesis de partida que dichos atraques serán constantes a lo largo de los años del estudio.

5.2. ESLORA MÍNIMA

Tras un primer análisis, se observa la presencia de buques cuyas escasas dimensiones no corresponden con las de un buque portacontenedores. Por eso motivo, tras consultar la página Marine Traffic se decide, como hipótesis primera, **retirar del estudio los buques inferiores a los 100 metros de eslora**, manteniendo aquellos de los que sí se tiene constancia que sean buques portacontenedores.

5.3. AÑO DE CONSTRUCCIÓN

Los buques construidos antes del año 2000 se encuentran en un punto de su ciclo de vida que hace que adaptarlos para poder conectarse al sistema de Cold Ironing no sea rentable económicamente. Por este motivo **se han excluido del estudio**.

5.4. POTENCIA DE MOTORES AUXILIARES

Con el fin de estimar la potencia de los motores auxiliares, Puertos del Estado indicó que se tomara como hipótesis la clasificación de los buques en dos tipos en función de su capacidad bin (carga de contenedores).

- GRANDES: Buques con una capacidad bin igual o superior a los 5.000 TEUs.
- PEQUEÑOS: Buques con una capacidad bin inferior a los 5.000 TEUs.

En numerosos casos se desconoce la capacidad bin del buque. Sin embargo, a partir de la base de datos que se generó, se observa que existe una relación exponencial entre la eslora y la capacidad bin.

$$TEUs = 0,001 \cdot LOA^{2,7596}$$

En consecuencia, se utiliza dicha fórmula para estimar el dato de aquellos buques para los que no ha sido posible identificar su capacidad bin.

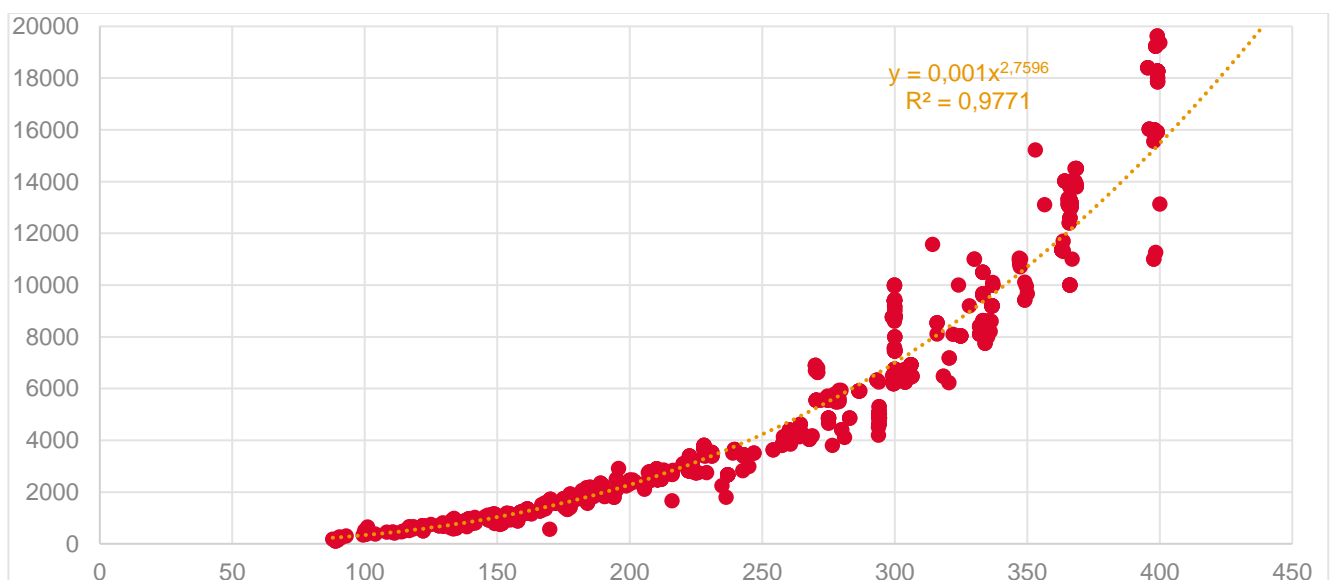


Figura 2. Aproximación de la capacidad de carga de TEUs a partir de la eslora

Se establece un consumo de 3.000 kW para los buques grandes y 2.000 kW para los buques pequeños.

5.5. CONTENEDORES REFRIGERADOS

Dada la falta de información se establece como hipótesis que la presencia de contenedores refrigerados supondrá un aumento de la potencia de los motores auxiliares de tomos los buques en un 25%.

5.6. CURVA DE CARGA HORARIA DE LOS BUQUES EN PUERTO

Para el estudio se ha considerado que, desde que el buque atraca hasta que puede estar conectado al sistema de Cold Ironing, pasa una hora. De igual forma, el buque se desconecta del sistema de Cold Ironing media hora antes de zarpar. Por tanto, **las horas de conexión serán 1,5 horas menos de que las que esté el buque atracado.**

5.7. DOTACIÓN DE TOMAS

Se establece, de acuerdo con Puertos del Estado, que el número máximo de tomas en el muelle será de una toma cada 150 metros. Es decir,

$$L = 150 \cdot (N + 1)$$

siendo,

L = Longitud total del muelle

N = Número de tomas

El muelle tiene una línea de atraque de 1.800 metros, por lo que no se podrán instalar más de 11 tomas.

5.8. PLANIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN

Con el objetivo de valorar la implantación de la instalación, desde Puertos del Estado, se establecen las siguientes fases:

- **Fase A.1 (los 2 primeros años):** Sólo habrá dos tomas disponibles.
- **Fase A.2 (los 3 años siguientes):** De las todas las tomas sólo estarán disponibles 4 de cada 5.
- **Fase B (los 5 años siguientes):** Estarán disponibles todas las tomas menos una.

Igualmente, se establece como hipótesis que las tomas estarán listas para satisfacer una potencia de 4MW. De esta forma, según las hipótesis de partida establecidas, tanto los buques grandes como los pequeños se podrán conectar a cualquier toma.

5.9. GRADO DE IMPLANTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

Por otro lado, se realizan las siguientes hipótesis respecto del grado de implantación de la tecnología de Cold Ironing en los buques portacontenedores que atracan en las terminales de estudio:

- **Fase A.1:** Se considera el 25% de los buques.
- **Fase A.2:** Se considera el 50% de los buques.
- **Fase B:** Se considera el 80% de los buques.

Los criterios para determinar los buques incluidos en cada horizonte temporal son:

- Año de construcción del buque, es decir, se adaptarán antes los buques modernos que los antiguos.
- Buques con mayor potencia demandada durante su estancia en puerto, es decir, cuanto mayor es la potencia en hotel, mayor capacidad de amortización de la inversión y mayor es la reducción de emisiones, por tanto, serán mayores los incentivos para la adaptación a la conexión eléctrica en puerto.
- Capacidad bin del buque. Dado que las hipótesis que se han tomado para el cálculo de la potencia de los motores auxiliares están bastante simplificadas por la escasez de datos de partida, parece lógico pensar que los buques con mayor capacidad bin tendrán un consumo mayor y, por tanto, un mayor incentivo para la adaptación del buque a la conexión eléctrica en puerto.

6. ANÁLISIS DE ESCALAS

Para el presente estudio se han analizado los atraques realizados a lo largo del año 2017, de los que se conocen el día y la hora exacta en la que cada uno de los buques atracó y zarpó.

A continuación, se muestra un pequeño resumen de las escalas que han tenido lugar en la terminal objeto del estudio.

TERMINAL	BUQUES QUE HAN ATRACADO	NÚMERO DE ESCALAS	DURACIÓN TOTAL DE LAS ESCALAS (H)
TERMINAL APM	187	997	16.350

Tabla 1. Resumen de las escalas en 2017

Considerando un tráfico constante a partir de 2017, en la siguiente tabla se muestra la evolución temporal de las escalas de buques compatibles con el sistema de Cold Ironing según las hipótesis establecidas:

TERMINAL	BUQUES QUE HAN ATRACADO			NÚMERO DE ESCALAS			DURACIÓN TOTAL DE LAS ESCALAS (H)		
	FASE A.1	FASE A.2	FASE B	FASE A.1	FASE A.2	FASE B	FASE A.1	FASE A.2	FASE B
TERMINAL APM	47	94	150	202	485	774	4.195	8.652	12.793

Tabla 2. Evolución temporal de las escalas de Cold Ironing en función de las fases

7. ANÁLISIS DE LA DEMANDA

7.1. GESTIÓN DE LA CONEXIÓN ELÉCTRICA DE LOS BUQUES ATRACADOS

Hasta este punto se ha estudiado la demanda de los buques de forma individual. A fin de estudiar el consumo total en la terminal, se establece un sistema de gestión de la conexión eléctrica de buques en puerto, de manera que a cada buque atracado se le asigna un valor de simultaneidad (1, 2, 3, 4...).

El criterio de asignación del valor de simultaneidad que se ha establecido es el orden cronológico de llegada al puerto. Es decir, que cuando un buque llega a puerto se le ha asignado el menor valor de simultaneidad disponible. El valor de simultaneidad permanece constante durante la escala del buque.

Por ejemplo, el primer buque que llega al puerto tiene un valor de simultaneidad 1, si llega otro buque y aun no se ha ido el buque clasificado como simultaneidad 1, se le da el valor de simultaneidad 2. Si llega un tercer buque cuando ya se ha ido el primero en llegar, se le asignará el valor de simultaneidad 1, aunque el segundo buque aún no se haya ido.

7.2. RESULTADOS

A continuación se muestran los consumos y potencias máximas para cada una de las fases.

7.2.1. FASE A.1.

FASE A.1					
Nº DE TOMA	Nº DE BUQUES POR TOMA	DURACIÓN DE LAS ESCALAS (H)	DURACIÓN DEL SERVICIO DE COLD IRONING (H)	CONSUMO (MWH)	POTENCIA MÁXIMA (MW)
1	139	2.896	2.688	8.771	3,75
2	56	1.075	991	2.846	3,75
3	7	224	213	671	3,75
Total	202	4.195	3.892	12.287	11,25

Tabla 3. Tabla de estimación del consumo y de la potencia máxima en la fase A.1

Según la hipótesis definida para la fase A.1 en la planificación de la instalación sólo estarán disponibles 2 tomas para dar suministro simultaneo, por lo que no se podrá dar suministro a los 7 buques clasificados como simultaneidad 3.

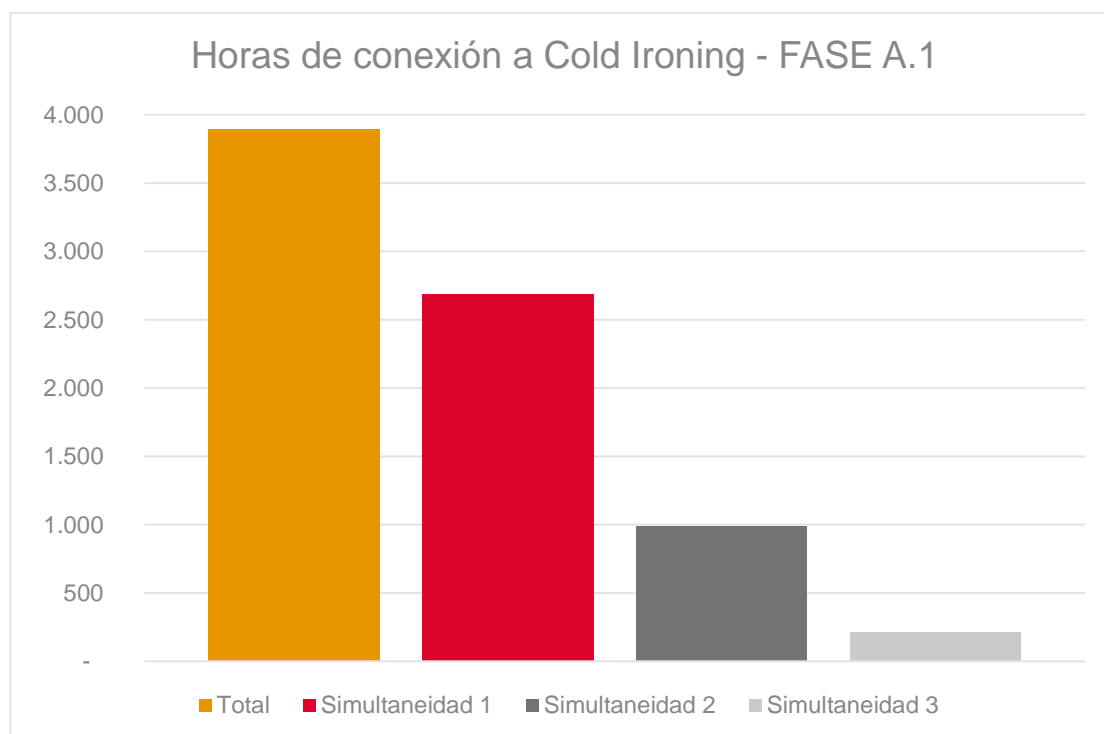


Figura 3. Distribución de horas de conexión a Cold Ironing en la fase A.1

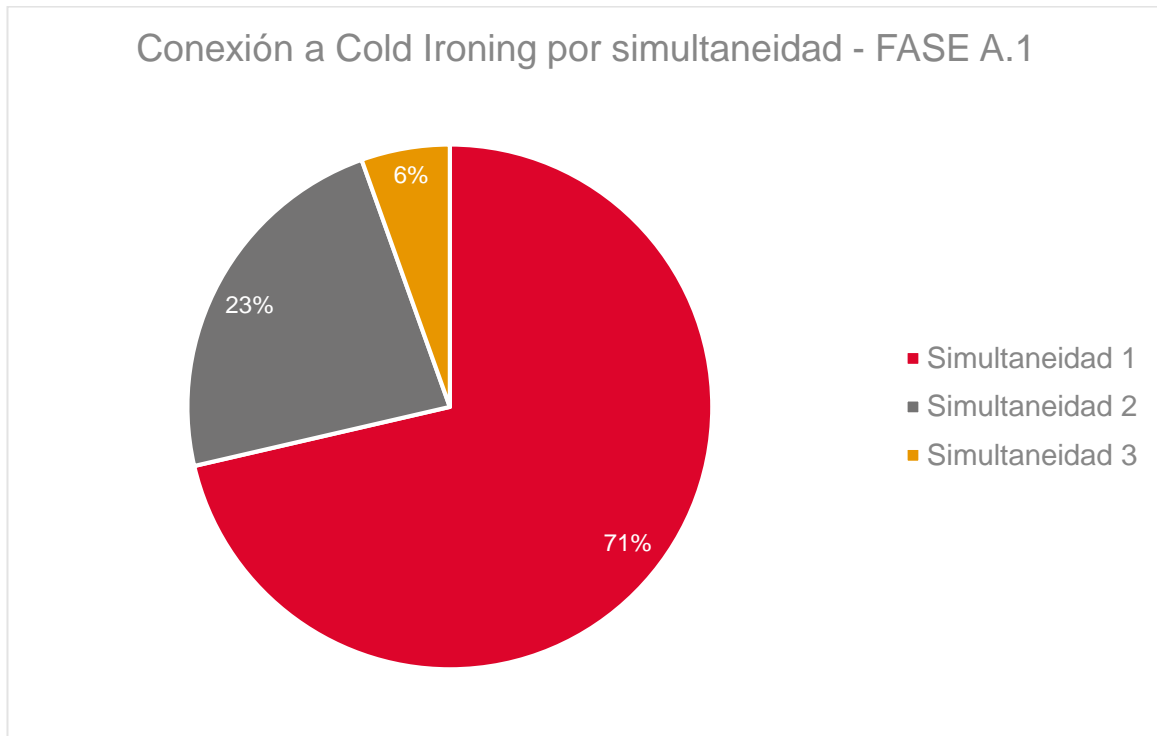


Figura 4. Distribución de simultaneidades en la fase A.1 por consumo

7.2.2. FASE A.2.

FASE A.2					
Nº DE TOMA	Nº DE BUQUES POR TOMA	DURACIÓN DE LAS ESCALAS (H)	DURACIÓN DEL SERVICIO DE COLD IRONING (H)	CONSUMO (MWH)	POTENCIA MÁXIMA (MW)
1	264	4.971	4.575	14.587	3,75
2	165	2.723	2.475	7.307	3,75
3	49	822	748	2.149	3,75
4	6	123	114	285	2,50
5	1	13	12	30	2,50
Total	485	8.652	7.925	24.358	16,25

Tabla 4. Tabla de estimación del consumo y de la potencia máxima en la fase A.2

En esta fase la hipótesis para la planificación de la instalación es que estarán disponibles 4 de cada 5 tomas, lo que supone que 8 de las 11 tomas estarán preparadas para dar suministro. Por lo que no habrá restricciones de suministro en este punto por existir un máximo de 5 buques conectados de forma simultánea.

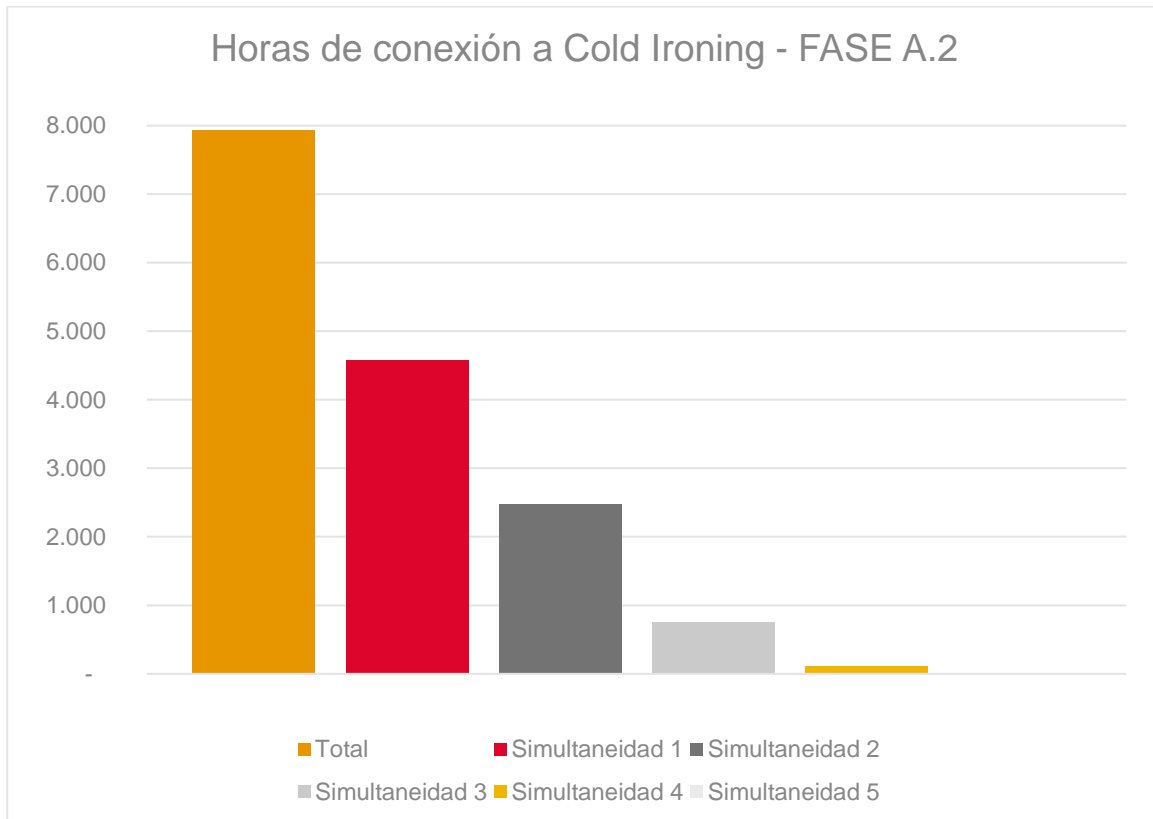


Figura 5. Distribución de horas de conexión a Cold Ironing en la fase A.2

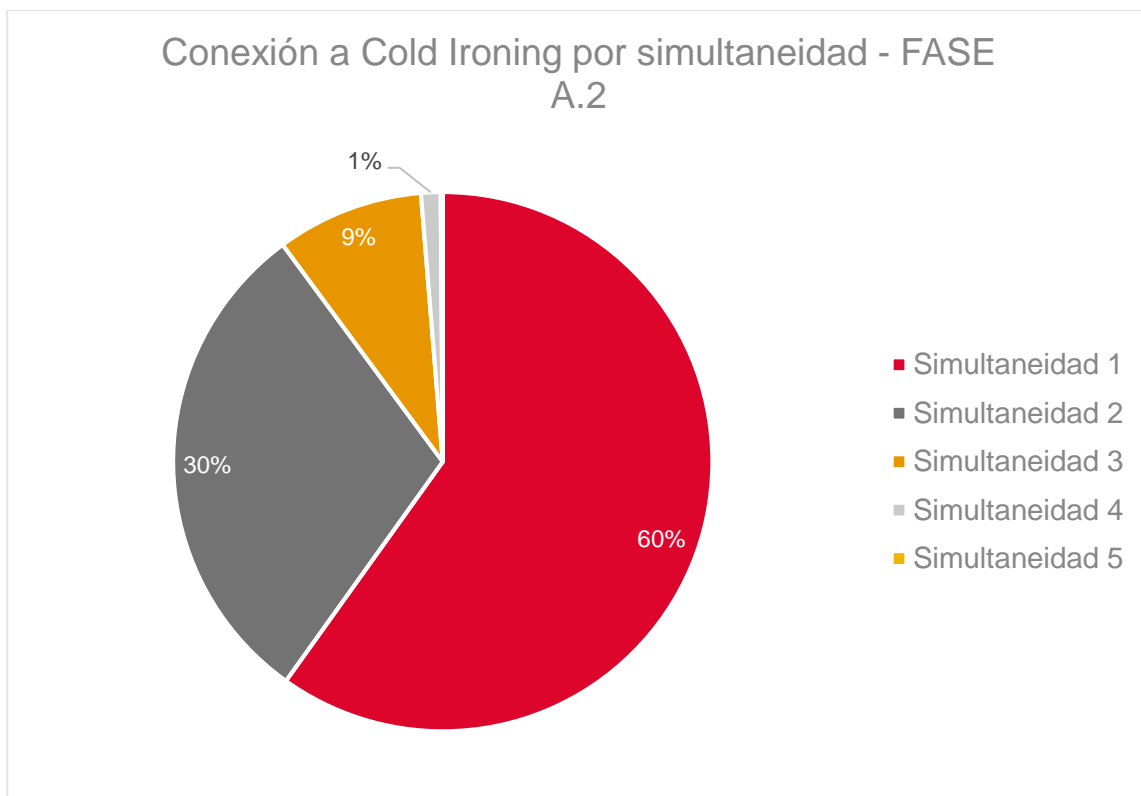


Figura 6. Distribución de simultaneidades en la situación a fase A.2 por consumo

7.2.3. FASE B

FASE B					
Nº DE TOMA	Nº DE BUQUES POR TOMA	DURACIÓN DE LAS ESCALAS (H)	DURACIÓN DEL SERVICIO DE COLD IRONING (H)	CONSUMO (MWH)	POTENCIA MÁXIMA (MW)
1	329	5.757	5.264	16.397	3,75
2	272	4.278	3.870	11.359	3,75
3	137	2.185	1.979	5.537	3,75
4	34	531	480	1.216	3,75
5	2	42	39	99	2,50
Total	774	12.793	11.632	34.608	17,50

Tabla 5. Tabla de estimación del consumo y de la potencia máxima en la fase B

En esta fase la hipótesis para la planificación de la instalación es que estarán disponibles todas las tomas menos una, lo que supone que estarán preparadas 10 tomas para dar suministro. Por lo que no habrá restricciones de suministro en este punto por existir un máximo de 5 buques conectados de forma simultánea.

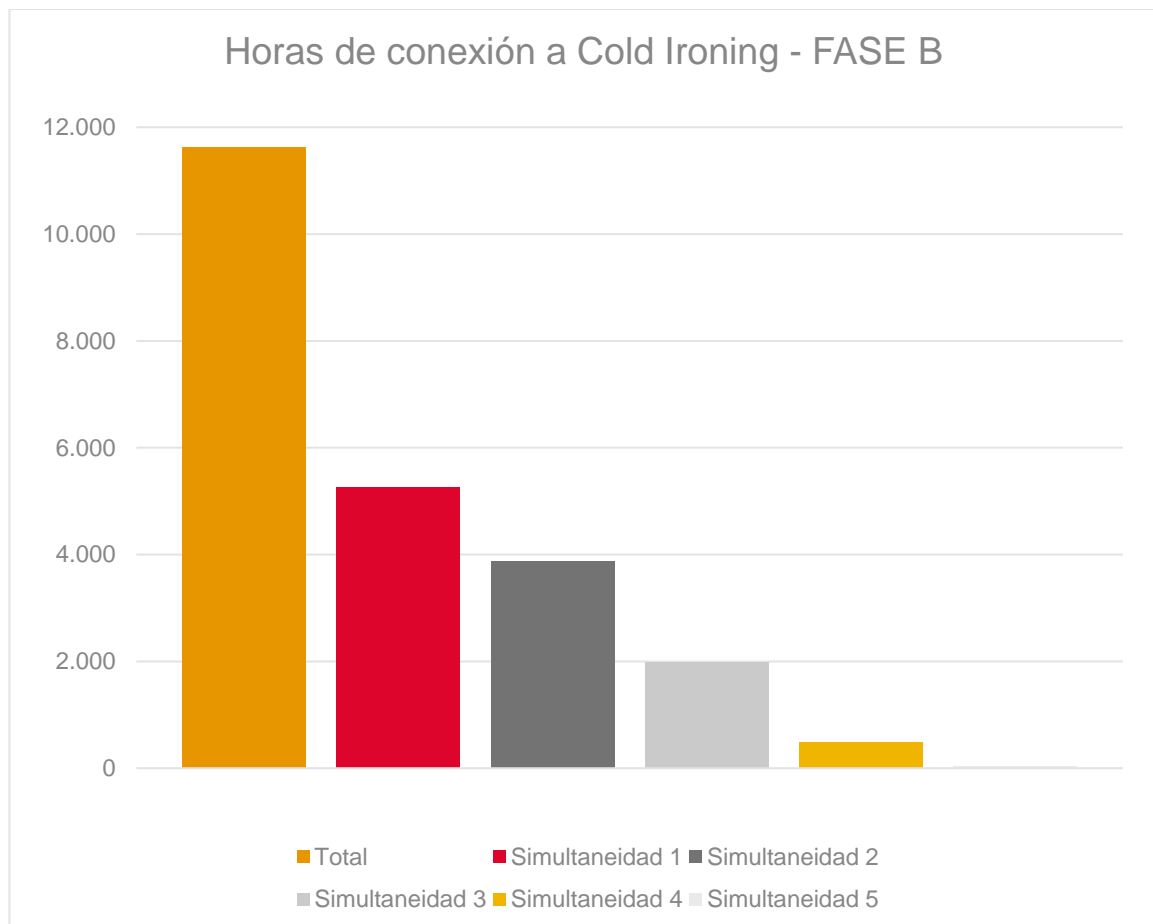


Figura 7. Distribución de horas de conexión a Cold Ironing en la fase B

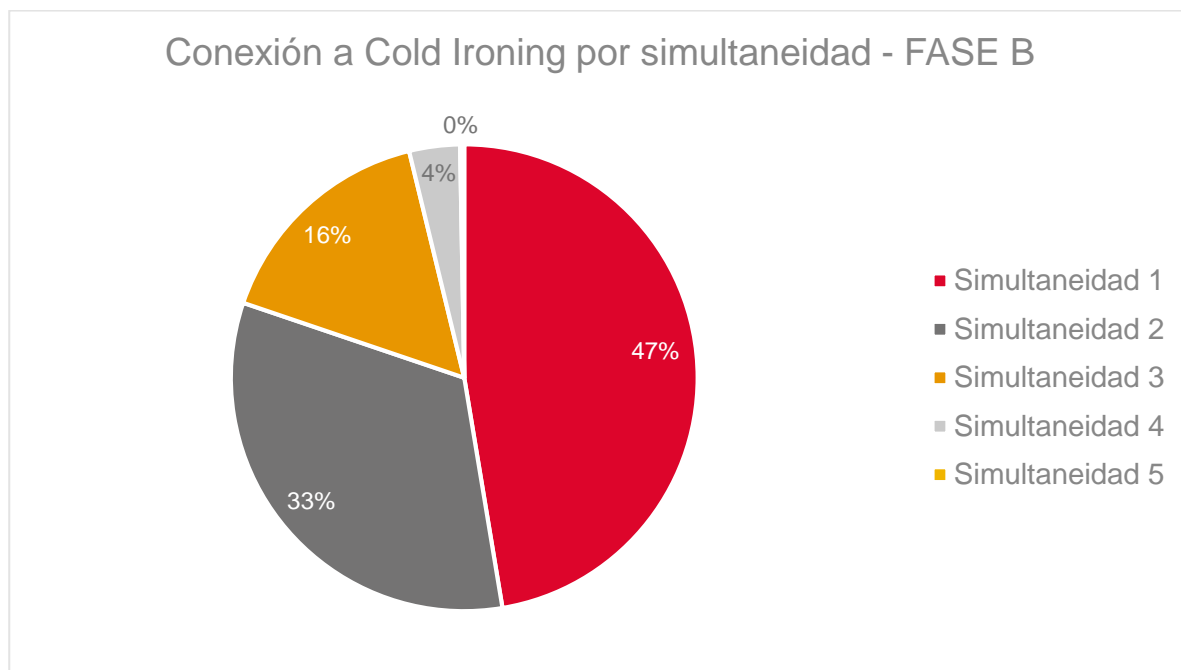


Figura 8. Distribución de simultaneidades en la fase B por consumo

FASES	SIMULTANEIDAD				
	1	2	3	4	5
FASE A.1	8.771	2.846	-	-	-
FASE A.2	14.587	7.307	2.149	285	-
FASE B	16.397	11.359	5.537	1.216	99

Tabla 6. Resumen de consumos (MWh) por simultaneidades y fases

FASES	SIMULTANEIDAD				
	1	2	3	4	5
FASE A.1	3,75	7,50	-	-	-
FASE A.2	3,75	7,50	11,25	13,75	-
FASE B	3,75	7,50	11,25	15,00	17,50

Tabla 7. Agregado de potencias (MW) por simultaneidades y fases

8. CONCLUSIONES

Según las hipótesis de partida sería necesario implantar una instalación de 11 tomas que permita la conexión de 5 buques de forma simultánea, con una potencia instalada de 17,50 MW.

Sin embargo, como puede verse en el gráfico de la Figura 9, en el caso de la terminal objeto del estudio no parece razonable plantear una instalación capaz de dar suministro eléctrico a más de 3 barcos de forma

simultánea. Lo que supondría una instalación de 11,25 MW con la que se podría satisfacer el 96% de la demanda.

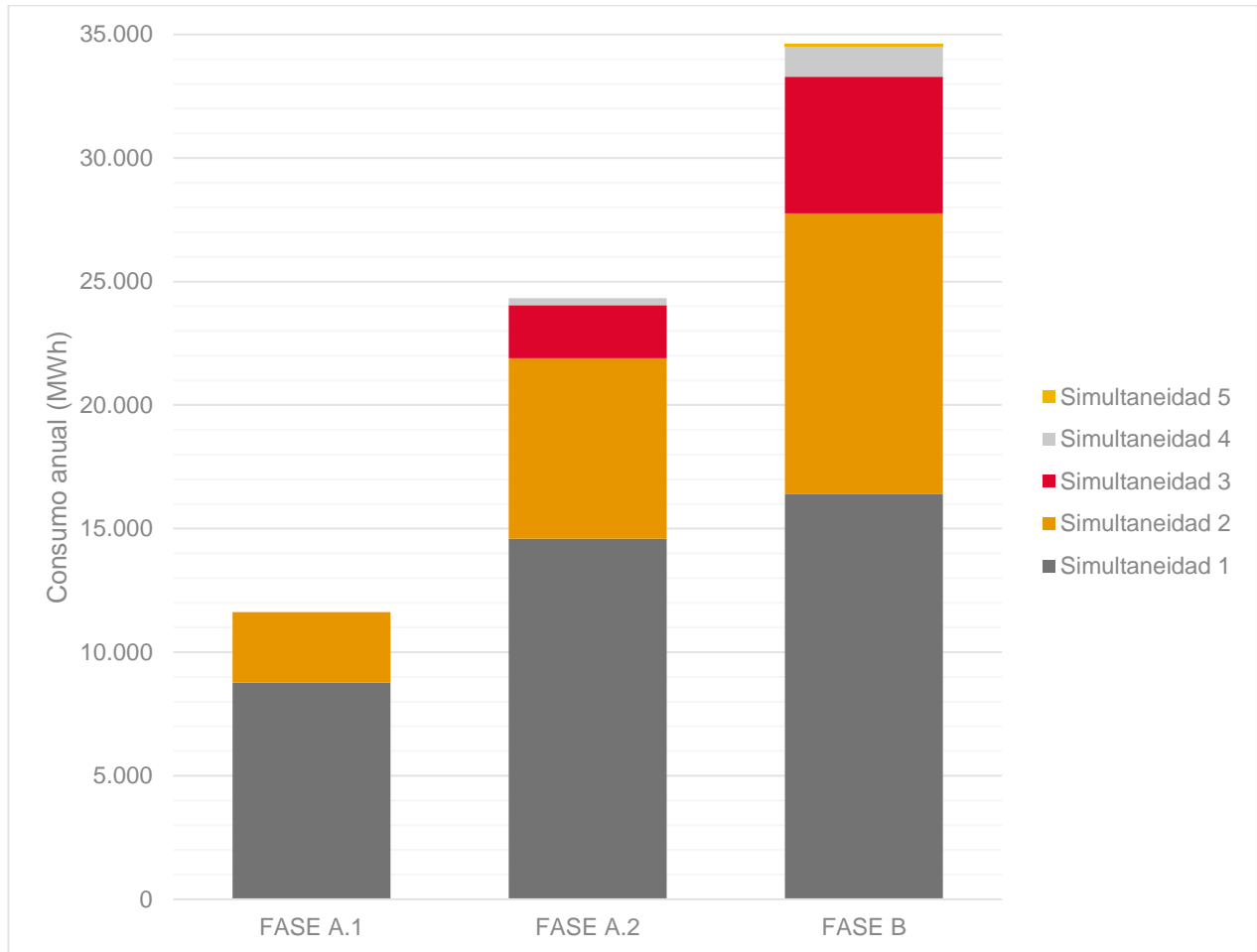


Figura 9. Evolución del consumo anual (MWh)

Se plantean dos soluciones distintas:

1. En el caso de que la Autoridad Portuaria tenga la capacidad de gestionar los puntos de atraque de los buques, se recomienda preparar una zona del muelle con una instalación fija compuesta por 3 tomas de 4 MW cada una y con una instalación capaz de dar suministro simultaneo a las 3 tomas.
2. En el caso de que los puntos de atraque estén cedidos a las navieras y, por tanto, la Autoridad Portuaria no tenga la capacidad de gestionarlos, se recomienda realizar una instalación móvil, compuesta por un centro de carga y unos módulos portátiles que se desplacen al lugar donde haya atracado el buque. Esta solución es una solución más flexible pues permite dar suministro eléctrico a un buque en cualquier punto del puerto y una capacidad de ampliación sencilla.