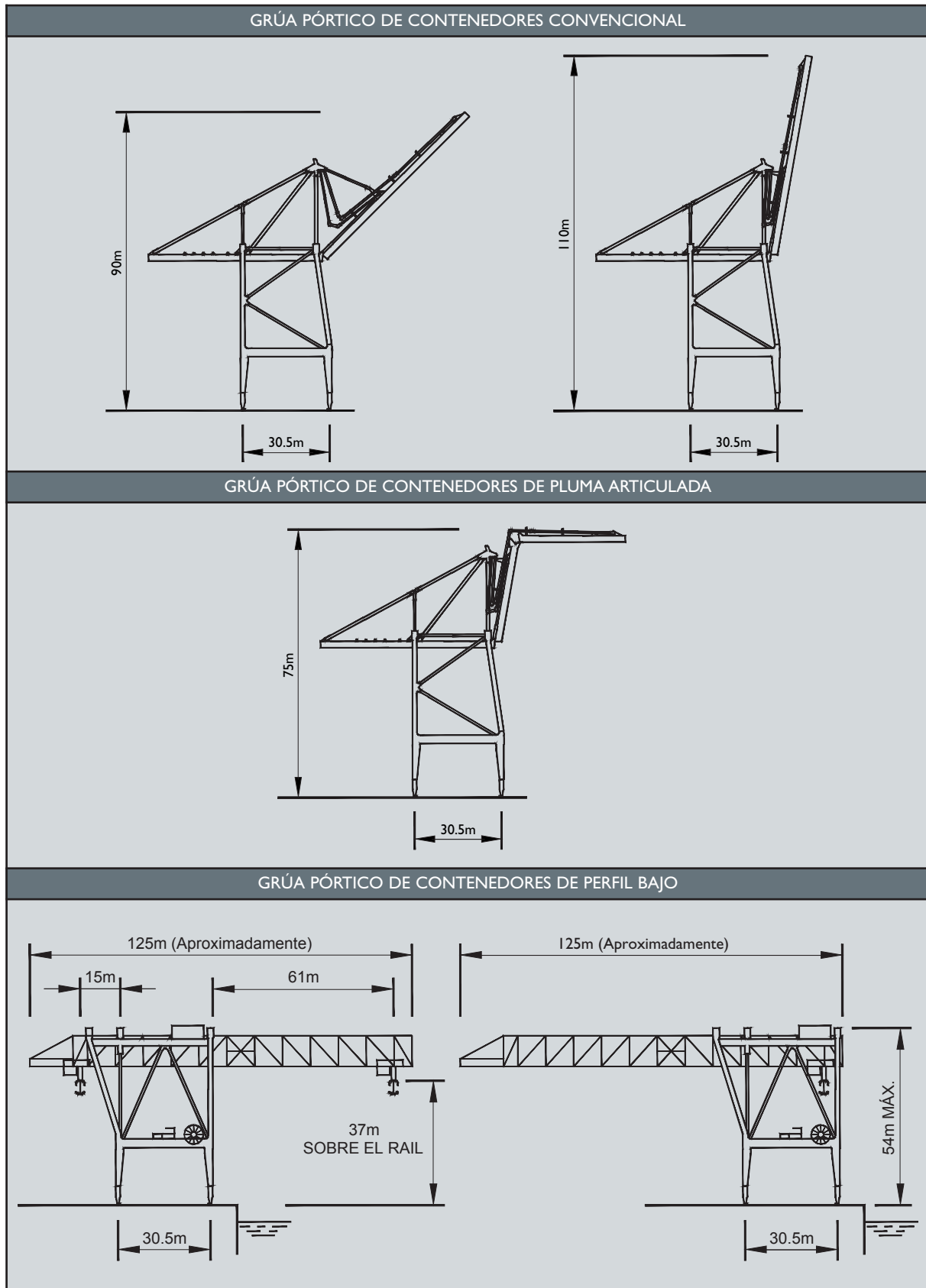


Figura 4.6.4.1. Comparación de grúas pórtico de contenedores convencionales y no convencionales en relación con la altura sobre carriles en posición de estacionamiento



- Para usos comerciales de graneles sólidos sin instalación especial ⁽³³⁾ y mercancía general convencional ordinaria

En función de la manga del buque de manga máxima de la flota esperable en el atraque, las cargas correspondientes a las grúas pórtico incluidas en la tabla 4.6.4.9 tendrán la consideración de cargas mínimas en proyectos de obras de atraque para usos comerciales de graneles sólidos sin instalación especial y mercancía general convencional ordinaria.

- Para usos comerciales de mercancía general convencional pesada, ferris y multipropósito y para usos industriales y militares

Para buques de la flota esperable en el atraque tipo Panamax y PostPanamax, las cargas correspondientes a las grúas pórtico incluidas en la tabla 4.6.4.9 tendrán la consideración de cargas mínimas en proyectos de obras de atraque y amarre para usos comerciales de mercancía general convencional pesada, ferris y multipropósito, así como para usos industriales y militares. Para buques de la flota esperable en el atraque tipo Feeder o SubPanamax, las cargas correspondientes a la grúa 300/35 incluidas en dicha tabla tendrán la consideración de cargas mínimas, independientemente de la manga del buque de manga máxima de la flota esperable en el atraque.

- Para usos comerciales de contenedores y graneles sólidos con instalación especial (Ver nota 33)

En función del tamaño del buque máximo de proyecto, las cargas correspondientes a las grúas incluidas en la tabla 4.6.4.10 tendrán la consideración de cargas mínimas en proyectos de obras de atraque para usos comerciales de contenedores. Para buques de la flota esperable en el atraque tipo Feeder o SubPanamax, las cargas correspondientes a las grúas para buques Panamax (13 contenedores en manga) incluidas en dicha tabla tendrán la consideración de cargas mínimas, independientemente de la separación de carriles que pueda adoptarse ⁽³⁴⁾.

Para usos de graneles sólidos con instalación especial, se podrán asimilar las cargas máximas transmitidas por los pórticos de carga-descarga de graneles sólidos con cuchara a las transmitidas por los pórticos de contenedores con alcance lado mar equivalente. Por tanto, en función del alcance necesario, dependiente de la manga del buque de manga máxima de la flota esperable en el atraque, las cargas correspondientes a las grúas de alcance equivalente incluidas en la tabla 4.6.4.10 tendrán la consideración de cargas mínimas en proyectos de obras de atraque y amarre para estos usos. El alcance necesario podrá calcularse a partir de la manga del buque de manga máxima de la flota esperable en el atraque (B_{max}) por medio de la siguiente formulación, considerando que desde el carril lado mar y la borda del buque se consumen entre 4 y 5 m y que la anchura entre brazolas de escotillas es del orden del 40% de la manga: $\text{Alcance} = 5 + 0,70 \cdot B_{max}$ (en m).

Para buques graneleros con manga menor que los buques Panamax (32,5 m), las cargas correspondientes a las grúas para buques Panamax incluidas en la tabla 4.6.4.10 tendrán la consideración de cargas mínimas, independientemente de la separación de carriles que pueda adoptarse.

En obras de atraque y amarre para el resto de usos no se adoptan cargas mínimas transmitidas por equipos de manipulación de movilidad restringida.

(33) En el campo de los sistemas de manipulación discontinuos de graneles sólidos por elevación se considerará instalación especial a los pórticos de descarga con cuchara. Por tanto, en este ámbito se considerará que no existe instalación especial cuando la carga-descarga se realice mediante grúas pórtico tipo.

(34) Si bien es habitual que las grúas en muelles de contenedores para buques feeder y sub Panamax —de 10 a 13 contenedores en manga— tengan una separación de carriles entre 15 y 18 m, la tendencia actual es aumentar la separación de carriles a un mínimo de 30,50 m, ya que anchos de vías mayores permiten incrementar la estabilidad de la grúa, disminuyendo las reacciones máximas por rueda y pata. A los efectos de las cargas máximas puede considerarse que las grúas para buques subPanamax con separaciones de carriles entre 15 y 18 m no son mayores que las transmitidas por las grúas Panamax con 30,5 m de separación de carriles.

El resumen de las cargas mínimas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías de movilidad restringida a adoptar en las áreas de operación de obras de atraque y amarre en las que estén previstos sistemas de carga y descarga del buque mediante sistemas discontinuos por elevación se incluye en la tabla 4.6.4.23.

a₂) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable para dicha verificación en cada condición de trabajo sea la combinación poco probable o fundamental será de aplicación lo dispuesto en el epígrafe a₁) de este apartado para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos. Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable sea la combinación frecuente o cuasi-permanente (ver apartado 4.1.1.2) se adoptarán como valores representativos de las cargas transmitidas por equipos de manipulación fijos y de movilidad restringida los valores frecuentes y cuasi-permanentes definidos en el epígrafe anterior.

Tabla 4.6.4.10. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por grúas pórtico estándar o convencionales sobre carriles para contenedores ⁶⁾

TIPO DE GRÚA PARA CONTENEDORES						
Para buques con n° filas de contenedores en manga	< 13	13	13-17	17-19	19-22	≥ 22
Tamaño buque máximo de proyecto	Feeder	Panamax	Post Panamax	Super Post Panamax	Suezmax	Malacamax
Capacidad del buque (TEUS)	300-3.000	3.000-4.000	4.000-8.000	8.000-10.000	10.000-12.000	> 12.000
Manga del buque (m)	21-32,3	32,3	32,3-43	43-46	46-53	53-60
CARACTERÍSTICAS GRÚA						
Capacidad de elevación bajo spreader (kN)	320-400	400	500	520	580	+ 650
Alcance lado mar (m)	30-35	35-47	45-47	50-55	55-60	65-75
Alcance lado tierra (m)	10	12-18	15-18	15-20	15-20	15-22
Max. altura de elevación sobre carriles (m)	25	30-34	34	34	36	40-46
Max. altura total de elevación (m)	50	50	50	52	54	+ 60
Gálibo bajo portal (m)	12	12	12	12-15	15	12-18
Peso (kN)	4.000-5000	5.000-8.000	9.000-12.000	10.000-13.000	11.000-15.000	16.000≥20.000

Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por grúas pórtico estándar o convencionales sobre carriles para contenedores ⁶⁾ (continuación)

CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA							
Distancia (G) entre carriles (m)		15-30,50	30,50	30,50	30,50	30,50	30,50-40
Espacio entre patas (m)		18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3
Separación (W) entre patas (m)		13-15	15-17	15-17	15-17	15-17	15,17
Nº ruedas por pata (n)		6	8	8	8	8	8
Separación (S) de ruedas (m)		1,00-1,20	1,20-1,50	1,30-1,50	1,30-1,50	1,30-1,50	1,30-1,50
Distancia (B) entre topes (m)		20-24	24-27	24-27	24-27	24-27	24-27
Distancia (A) tirante anclaje/agarre (m)		9	9	9	9	9	9
MÁXIMA CARGA POR RUEDA (kN) ¹⁾							
En condiciones de Operación ²⁾	Vertical lado mar	450-600	500-600	600-850	900-950	950-1.000	> 1.025
	Vertical lado tierra	350-450	400-500	500-650	550-730	700-800	> 825
	Horizontal ⁵⁾	75-100	80-100	90-130	130-150	140-160	> 180
En condiciones Extremas ³⁾	Vertical lado mar	300-400	250-600	450-650	850-950	1.000-1.100	> 1.300
	Vertical lado tierra	400-500	300-650	450-750	750-850	900-1.000	> 1.200
	Horizontal ⁵⁾	45-60	50-100	70-110	130-140	130-150	> 195
MÁXIMA CARGA EN DISPOSITIVOS DE ANCLAJE							
En condiciones Excepcionales debido a viento extraordinario ⁴⁾	Tracción tirante de anclaje (kN/pata)	500-3.000	500-3.500	500-3.500	3.500-4.000	4.000-5.500	> 6.000
	Horizontal en brochado (kN/lado)	850-1.150	1.200-2.400	1.750-2.750	3.250-3.500	3.250-3.750	> 4.800
Notas <ul style="list-style-type: none"> – Cuando, de acuerdo con lo previsto en esta Recomendación, se adopten los valores consignados en esta tabla para la definición de cargas mínimas, en aquellos parámetros que se incluya un rango de valores se utilizará a estos efectos el valor medio. 1) Las cargas máximas por rueda consignadas en esta tabla tienen únicamente un valor indicativo de su orden de magnitud para cada tipo de grúa, habiéndose obtenido del análisis de las correspondientes a diferentes fabricantes. Dependiendo del fabricante, del tipo de carro y spreader y de la configuración geométrica, las variaciones pueden ser significativas por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si ésto no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores nominales máximos que no deben superarse por los equipos de manipulación, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación. 2) Considerando una velocidad de viento límite de operatividad en el emplazamiento $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 24\text{ m/s}$ ($\approx 86\text{ km/h}$), actuando en la dirección transversal a la banda de circulación del equipo y en el sentido más desfavorable, e incluyendo los efectos inerciales asociados con el movimiento del equipo y con la elevación de la carga. Definidas las cargas en las ruedas de las patas más cargadas, las cargas verticales sobre el resto de patas pueden obtenerse considerando que la suma de todas las cargas debe igualar a las cargas verticales actuantes (peso propio+máxima carga izada+efectos inerciales). Los efectos inerciales incluidos en las cargas consignadas en esta tabla pueden estimarse como el 15% de la máxima carga izada. 3) Considerando que la velocidad de viento en el emplazamiento correspondiente a condiciones extremas es $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 40\text{ m/s}$ ($\approx 144\text{ km/h}$) en la dirección perpendicular a la banda de circulación del equipo. Definidas las cargas verticales en las ruedas de las patas más cargadas, las cargas de actuación simultánea sobre el resto de patas pueden obtenerse considerando que la suma de todas las cargas deben igualar a las cargas verticales actuantes (peso propio). Para la determinación de las cargas por rueda para otra velocidad del viento, puede utilizarse el siguiente procedimiento simplificado: <ul style="list-style-type: none"> – Considerar que el peso propio de equipo se reparte uniformemente entre todas las patas. De esta forma se puede obtener las componentes de la carga debido al viento en cada pata ($Q_{fc,2 v_0}$) tanto cargada como descargada para la velocidad del viento $V_0 = 40\text{ m/s}$. – Considerar que la componente del viento para una velocidad V_1 ($Q_{fc,2 v_1}$) puede obtenerse mediante la relación: $Q_{fc,2 v_1} = Q_{fc,2 v_0} \cdot (V_1/V_0)^2$ 4) Considerando que la velocidad de viento en el emplazamiento correspondiente a condiciones excepcionales debido a viento extraordinario es $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 50\text{ m/s}$ ($\approx 180\text{ km/h}$) en la dirección perpendicular a la banda de circulación del equipo. Las máximas cargas por rueda en dicha condición de trabajo, así como las cargas de actuación simultánea con las cargas máximas en las ruedas de las patas descargadas, pueden determinarse a través del procedimiento establecido en 3) a partir de las definidas para condiciones extremas, considerando la velocidad del viento correspondiente a estas condiciones excepcionales. Así mismo, utilizando la metodología incluida en la Nota 3) pueden obtenerse las fuerzas de tracción en el tirante y la fuerza horizontal en el brochado para otra velocidad del viento. A estos efectos se considerará que, en esta condición, en los brochados se concentra la totalidad de la fuerza horizontal debida al viento. 5) Carga horizontal en dirección transversal a la dirección de rodadura, concordante con la dirección de actuación del viento. Definidas las cargas horizontales en las patas más cargadas, puede considerarse que sobre las otras patas actúa la misma carga horizontal. En condiciones normales de operación, para una velocidad del viento límite de operatividad de 24 m/s, la componente de la acción horizontal debida al viento puede aproximarse al 5% de la carga máxima vertical sin considerar la componente vertical debida a los efectos inerciales. En condiciones normales de operación también debe considerarse que actúa 							

Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por grúas pórtico estándar o convencionales sobre carriles para contenedores ⁶⁾ (continuación)

Notas

simultáneamente una acción horizontal longitudinal adicional en la dirección de la banda de circulación del equipo, causada por los posibles movimientos del equipo (traslación o frenada) en la dirección de rodadura. Esta última acción horizontal puede estimarse como el 15% de las cargas verticales.

- 6) Los otros valores representativos (de combinación, frecuente y cuasi-permanente) en condiciones del equipo fuera de servicio pueden aproximarse a partir de las máximas cargas por rueda correspondientes a condiciones extremas, considerando la velocidad del viento que le corresponda a cada valor representativo de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.8., calculados a través del procedimiento establecido en la cláusula 3). En condiciones del equipo en servicio, simplificadaamente podrán adoptarse valores reducidos de los valores establecidos para condiciones normales de operación que, para el caso del valor frecuente serán iguales a 0,95 los correspondientes a dichos valores y para el caso del valor cuasi-permanente el 0,90.

a₃) Para la verificación de modos de parada operativa

El agente de uso y explotación cuyos límites de operatividad definen el modo de parada operativa correspondiente a la paralización de las operaciones de carga y descarga de mercancías con buque atracado es el agente “manipulación de mercancías mediante sistemas discontinuos por elevación con equipos fijos y de movilidad restringida ($q_{v,211}$)”, cuando la operativa de carga y descarga del buque se realice mediante este tipo de equipos.

A los efectos de verificar este modo de parada operativa se definirán los valores umbral de cada una de las variables de los agentes climáticos, en su caso, operativos que limitan las operaciones de carga y descarga de cada uno de los buques de la flota esperable en el atraque, en cada una de las direcciones en las que puedan actuar, para cada una de las siguientes causas de paralización de estas operaciones que sean relevantes en el emplazamiento, de acuerdo con lo dispuesto para las correspondientes condiciones de trabajo de operación de este agente en el epígrafe a_1) de este apartado:

- Paralización por razones intrínsecas de seguridad del equipo y de la operación.
- Paralización por incompatibilidad con los movimientos del buque atracado.
- Paralización por rebases de las aguas exteriores o, en su caso, del trasdós, sobre el nivel de coronación de la obra de atraque.
- Paralización por insuficiencia de alturas de elevación del equipo de manipulación.
- Paralización por rebases del oleaje sobre la coronación de obras de abrigo, en el caso de obras de atraque adosadas o próximas a éstas.

Un vez definidos en magnitud y dirección, los valores umbral de las variables de los agentes climáticos y operativos que limitan la realización de las operaciones de carga y descarga, tomando en consideración todas las causas de paralización, de acuerdo con los procedimientos establecidos en esta Recomendación, la probabilidad de parada de las operaciones de carga y descarga se obtendrá como la suma de las probabilidades absolutas de excedencia en el emplazamiento en el año medio de los umbrales de operatividad más restrictivos de cada una de dichas variables en cada una de las direcciones, de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.1.1.3 de esta Recomendación. El nivel de operatividad asociado a estas operaciones será el complementario de dicha probabilidad de parada

A estos efectos, se considerarán como variables climáticas que limitan la realización de las operaciones de carga y descarga la velocidad del viento para la causa de paralización por razones de seguridad del equipo, el nivel alto y bajo de las aguas y, en su caso, la altura de ola, para las causas de paralización por rebases o insuficiencia de alturas de elevación del equipo, y la velocidad del viento, la altura de ola, el periodo del oleaje o la velocidad de la corriente, así como los efectos hidrodinámicos inducidos por buques en tránsito, para la causa de paralización por movimientos del buque atracado.

Tal como se ha indicado en el apartado 3.2.2.1 cuando se utilicen equipos de manipulación de mercancías por elevación es recomendable que los niveles de coronación de las obras de atraque se proyecten de modo que la probabilidad de parada de las operaciones de carga y descarga asociada con

los rebases de las aguas exteriores y con la insuficiencia de las alturas de elevación del equipo sea nominalmente nula. De igual forma, en el caso de obras de atraque adosadas o próximas a diques es recomendable que los niveles de coronación de las obras de abrigo se proyecten de modo que la probabilidad de parada de las operaciones de carga y descarga asociada con los rebases de oleaje a través de la coronación del dique sea nominalmente nula. Cumpliendo estas recomendaciones no será necesario considerar para la verificación de los niveles de operatividad la contribución de estas causas de paralización de las operaciones de carga y descarga.

b) Para formulaciones probabilistas

Para formulaciones probabilísticas de las ecuaciones de verificación de los modos de fallo es admisible considerar simplificada que las cargas más desfavorables para el modo de fallo analizado transmitidas por equipos fijos y de movilidad restringida se pueden definir para los ciclos de sollicitación correspondientes a condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de viento extraordinario por medio de funciones de distribución obtenidas como funciones derivadas de las funciones de distribución extremas marginales de la velocidad del viento en el emplazamiento, considerando posición replegada del equipo o de tormenta con dispositivos de anclaje activados respectivamente. En el caso de que para el modo de fallo considerado, el viento no sea el agente predominante del estado meteorológico de proyecto pero esté correlacionado con este último, se utilizarán las funciones de distribución de la velocidad del viento condicionadas a cada valor de la variable climática predominante (ver apartado 4.6.2.1. b).

Para los ciclos de sollicitación correspondientes a condiciones operativas (realización de las operaciones de carga y descarga), cuando se definen directamente valores nominales límite de las cargas transmitidas por los equipos en esas condiciones se considerarán estos valores como deterministas. Cuando se definen límites de operatividad del equipo u otras condiciones de operatividad asociados a la velocidad del viento, se considerará que las componentes debidas al viento que se introducen en la relación funcional que relaciona en cada equipo las cargas transmitidas con los agentes causantes se derivan del régimen medio anual de la velocidad del viento, truncado por dicho umbral de operatividad. En los casos que se considere que la variable que define el ciclo de sollicitación correspondiente a estas u otras condiciones operativas no sea el viento (p.e. movimientos del buque debido a agitación por oleaje) se considerará que la componente debida al viento de las cargas transmitidas por los equipos, para cada configuración de los mismos, posición de la carga y dirección del viento se define a través de una función de distribución derivada de la función de distribución de la variable velocidad del viento condicionada al valor del límite de operatividad de la variable climática que determina la operatividad de la instalación, siempre que puedan considerarse correlacionadas, y truncada, en su caso, en el límite de operatividad establecido para el viento por los fabricantes de los equipos o por el resto de causas de paralización de las operaciones. En el caso de que el viento se considere independiente del agente que condiciona las operaciones de carga y descarga u otras condiciones de operatividad, la función de distribución de la componente de las cargas debidas al viento se derivará del régimen medio de la velocidad del viento en el emplazamiento, truncado, en su caso, por el límite de operatividad establecido para el mismo (ver apartado 4.6.2.1. b).

Para los ciclos de sollicitación correspondientes a condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental, así como a condiciones excepcionales o extremas debidas a la presentación de la acción sísmica, las funciones de distribución de las componentes debidas al viento de las cargas transmitidas por los equipos se derivarán de los regímenes medios marginales de la velocidad del viento (ver apartado 4.6.2.1. b), salvo en aquellos casos en los que la acción accidental está asociada a un determinado estado meteorológico y correlacionada con el viento. En este caso, las componentes debidas al viento de las cargas transmitidas por los equipos se derivarán de la función de distribución de la velocidad del viento condicionada al valor de la variable climática que define el estado meteorológico.

En todos los casos se considerará que las componentes debidas al peso propio del equipo que se introducen en la relación funcional que relaciona en cada equipo las cargas transmitidas con los agentes causantes, para la configuración del equipo y, en su caso, posición de la carga manipulada y sistemas de ancla-

je considerado, se definen considerando su valor nominal y que las componentes debidas al peso y movimiento de la carga manipulada en los ciclos de sollicitación en condiciones operativas y en los ciclos de sollicitación correspondientes a condiciones excepcionales cuando se considere que el equipo está en servicio se definen considerando que la función de distribución del peso de la carga manipulada es una normal de media el 80% del valor nominal y coeficiente de variación 0,15.

Estas aproximaciones pueden aplicarse para definir las funciones de distribución de las máximas cargas por rueda transmitidas por las grúas pórtico y de contenedores tipo considerados en las tablas 4.6.4.9 y 4.6.4.10 durante los ciclos de sollicitación correspondientes a condiciones extremas y excepcionales, a partir de los datos consignados en las mismas y la metodología definida para su adaptación a diferentes velocidad del viento. Por tanto, este procedimiento también será de aplicación para la definición probabilista en dichos ciclos de las cargas mínimas a considerar para cada uso de la obra de atraque y tamaño del buque de manga máxima de la flota esperable en el atraque, de acuerdo con lo señalado en el apartado anterior de esta Recomendación.

En el caso de que se apliquen las cargas máximas incluidas en las tablas 4.6.4.9 y 4.6.4.10 correspondientes al ciclo de sollicitación en condiciones de trabajo operativas, podrán considerarse como valores nominales de los límites operativos establecidos por criterios de explotación del equipo y, por tanto simplificada, carentes de incertidumbre estadística durante la fase de servicio, siempre que sea el viento el que determine la operatividad de la instalación de atraque.

Para la verificación probabilista del modo de parada correspondiente a la paralización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado se utilizarán las funciones de densidad conjunta en el emplazamiento correspondientes a las variables en las cuales se han definido umbrales límite de operatividad para la realización de las operaciones de carga y descarga. La probabilidad de parada asociada a estas operaciones se obtendrá integrando la función de densidad conjunta en el dominio de fallo definido por los valores umbral de las variables establecidos para la realización de las operaciones de carga y descarga. La determinación de la función de densidad conjunta puede realizarse de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.6.4.7.1.3. a_{52} de esta Recomendación.

4.6.4.2.1.1.2. *Cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación ($q_{v,212}$)*

Las cargas a tomar en consideración que afectan a las obras de atraque y amarre transmitidas por los equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación, como las grúas móviles sobre neumáticos u orugas ⁽³⁵⁾, son debidas fundamentalmente a las reacciones y presiones ejercidas, bien en los calzos estabilizadores necesarios para llevar a cabo las operaciones de carga y descarga en las condiciones de capacidad/alcance establecidas para el equipo sobre neumáticos, bien en las orugas.

Dichas cargas están asociadas fundamentalmente con los siguientes factores:

- ◆ Configuración geométrica del equipo, particularmente en lo que se refiere al número, disposición, separación, forma y tamaño de los calzos estabilizadores o de las orugas.
- ◆ Peso propio del equipo, incluyendo el peso de los sistemas o dispositivos de elevación o carga (gancho, cuchara o spreader).

(35) Las grúas sobre orugas es probable que causen daños relevantes en la superficie de las obras de atraque y en los pavimentos portuarios por lo que se recomienda no considerarlos como equipos de manipulación para la realización de actividades de carga, descarga, estiba y desestiba en obras de atraque y amarre de carácter definitivo. No obstante la utilización de este tipo de equipos puede ser necesario tomarla en consideración para la verificación de la obra en la fase de construcción. Por dicha razón, la caracterización de este agente en el caso de equipos sobre orugas no se desarrolla en este apartado, considerándose, no como un agente de manipulación de mercancías, sino como un agente asociado con el método constructivo. En el caso de que se prevea su utilización en las operaciones portuarias, las presiones transmitidas por dichos equipos son menores que las transmitidas por los equipos de movilidad no restringida sobre neumáticos de capacidad equivalente, por lo que estos últimos suelen ser más restrictivos a los efectos de la verificación de los modos de fallo locales.

- ◆ Capacidad de elevación del equipo en relación con su alcance.
- ◆ Efectos inerciales asociados con el movimiento del equipo y con la elevación de la carga.
- ◆ Los efectos de los agentes del medio físico, particularmente del viento.

Los parámetros que definen a este agente para el caso de equipos sobre neumáticos se incluyen en la tabla 4.6.4.11. Para una determinada posición de la pluma y de la carga, este agente se define mediante las cargas concentradas correspondientes a las acciones y presiones verticales y a las acciones horizontales en los calzos estabilizadores cuando el equipo está en condiciones operativas de carga o descarga. A los efectos de la definición de este agente no se consideran las cargas transmitidas por el equipo en condiciones de rodadura o las transmitidas por las ruedas en el caso de realizar operaciones de carga-descarga sin calzos estabilizadores en equipos, ya que la capacidad de elevación del equipo en estas condiciones, y por tanto las cargas transmitidas, son significativamente menores.

Su distribución espacial se considerará libre, limitada, en su caso, únicamente por su compatibilidad con las condiciones de explotación establecidas para la instalación. Para cada estado de proyecto, se adoptará la posición de los calzos estabilizadores y la distribución de cargas entre cada uno de ellos, correspondiente a la configuración del equipo, dirección del viento y posición de la carga, que produzca el efecto más desfavorable para el modo de fallo analizado.

A los efectos de la verificación de modos de fallo locales, en general será suficiente adoptar una única carga vertical concentrada, correspondiente al valor mayor que se produce en un calzo estabilizador, considerando todas las configuraciones del equipo, carga y viento compatibles con el estado de proyecto analizado, conjuntamente con la carga horizontal compatible con la misma en el calzo. No será necesaria la consideración de este agente para la verificación de modos de fallo globales en aquellos casos en los que la sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento de actuación simultánea considerada en el emplazamiento sea mayor que la máxima carga vertical total transmitida por los calzos (peso propio del equipo+máxima capacidad de elevación), distribuida uniformemente en la superficie contenida entre sus centros de gravedad (base soporte). En el caso contrario, se considerará la posibilidad de actuación simultánea de varios equipos de manipulación de movilidad no restringida.

Las cargas transmitidas por los equipos de movilidad no restringida se considerarán únicamente en los estados de proyecto representativos de los ciclos de solicitud asociados a la normal explotación de la instalación de atraque (condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga), así como en los estados sísmicos y en los estados asociados a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario (condiciones de trabajo excepcionales), ya que cuando no está operando o se presentan condiciones de temporal (condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presencia de viento extraordinario) el equipo está fuera de servicio, estacionándose en áreas alejadas de la obra de atraque y amarre. Las cargas transmitidas por cada uno de los equipos en estas condiciones se obtendrán a partir de la combinación de las acciones simultáneas y compatibles que actúan sobre los equipos en dichos estados; es decir, las debidas al peso propio del equipo, a la carga manipulada (incluyendo los efectos inerciales asociados con el movimiento de la carga) y al viento, tomando en consideración las diferentes posiciones del equipo y de la carga manipulada y la dirección del viento. Para ello, el fabricante del equipo deberá suministrar las cargas verticales y horizontales transmitidas por cada agente actuando aisladamente en cada una de las posiciones diferenciadas relevantes de la pluma (frontal, lateral y esquina) considerando para cada una de ellas la combinación máxima capacidad de carga/alcance. Para ello es recomendable solicitar estos datos al fabricante con el formato y requerimientos señalados en la tabla 4.6.4.12, de forma que sea posible definir los valores representativos y, en su caso, las funciones de distribución asociados con dichas cargas.

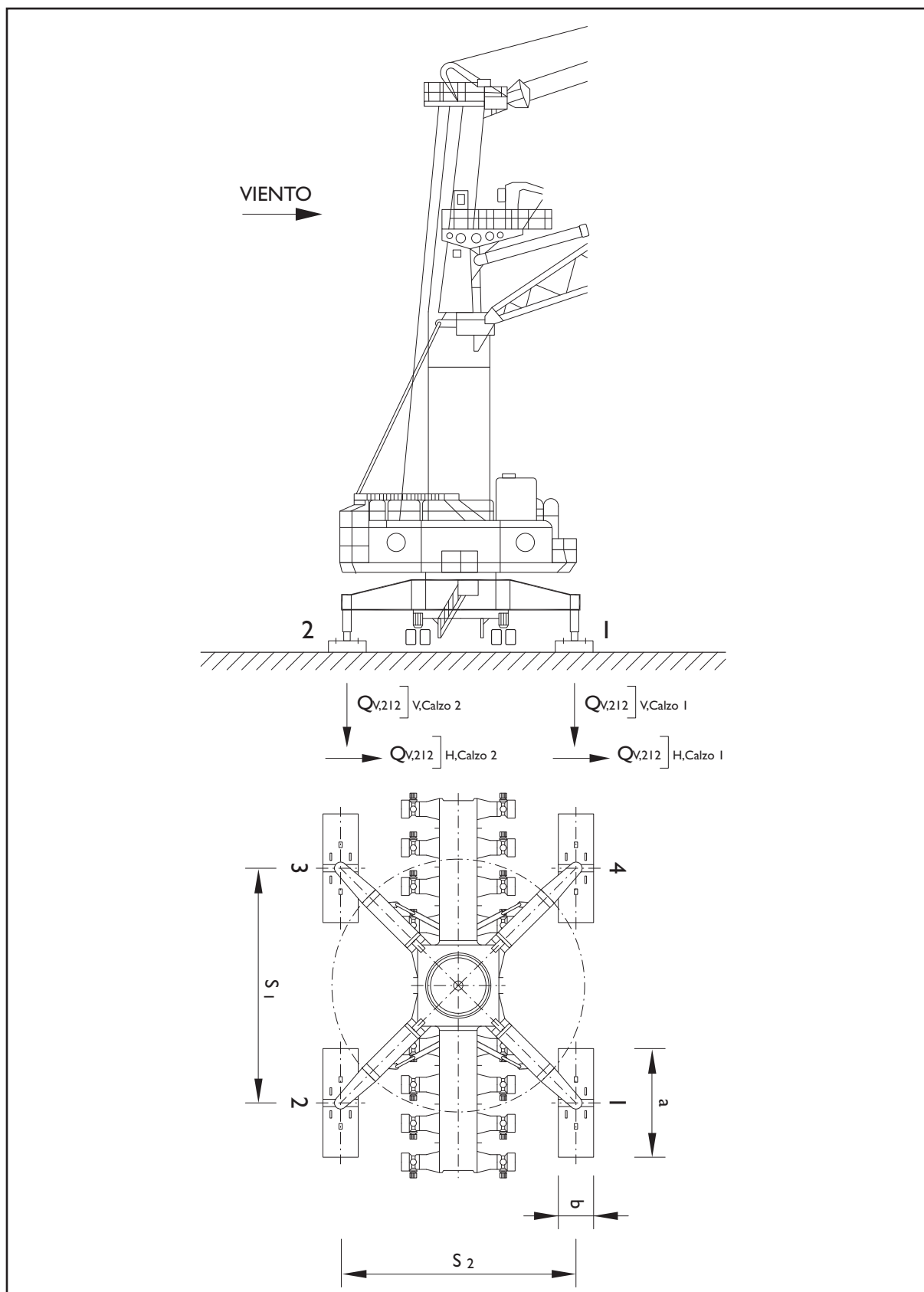
En función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, las cargas transmitidas por los equipos de manipulación de movilidad no restringida se definirán:

a) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas

a₁) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos

- ◆ En condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado, las cargas transmitidas por los equipos de movilidad

Tabla 4.6.4.11. Parámetros que definen las cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida sobre neumáticos (Grúas móviles)



Parámetros que definen las cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida sobre neumáticos (Grúas móviles) (continuación)

CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA	Nº de calzos estabilizadores		N
	Disposición de los calzos		1)
	Forma de los calzos		1)
	Tamaño de los calzos		a x b 1)
	Dimensiones de la base soporte		S ₁ x S ₂ 1)
CARGA EN CALZO ESTABILIZADOR	CALZO ESTABILIZADOR 1	VERTICAL	Q _{v,212} V _{calzo 1}
		HORIZONTAL 2)	Q _{v,212} H _{calzo 1}
	CALZO ESTABILIZADOR 2	VERTICAL	Q _{v,212} V _{calzo 2}
		HORIZONTAL 2)	Q _{v,212} H _{calzo 2}
	CALZO ESTABILIZADOR 3	VERTICAL	Q _{v,212} V _{calzo 3}
		HORIZONTAL 2)	Q _{v,212} H _{calzo 3}
	CALZO ESTABILIZADOR n	VERTICAL	Q _{v,212} V _{calzo n}
		HORIZONTAL 2)	Q _{v,212} H _{calzo n}
Notas			
1) La forma y disposición más común de los calzos estabilizadores es rectangular, aunque también pueden darse disposiciones triangulares y calzos de forma circular			
2) Las acciones horizontales en los calzos estabilizadores tienen la misma dirección que el viento actuante.			

Tabla 4.6.4.12. Formato para la descomposición de las cargas transmitidas por grúas móviles sobre neumáticos en función de los diferentes agentes actuantes, a suministrar por el fabricante

AGENTE	POSICIÓN DE LA PLUMA	POSICIÓN DE LA CARGA MANIPULADA	CARGAS POR CALZO ESTABILIZADOR							
			CALZO 1		CALZO 2		CALZO 3		CALZO 4	
			V	H	V	H	V	H	V	H
A. Peso propio del equipo	Frontal centrada	—								
	Lateral centrada	—								
	En esquina	—								
B. Carga manipulada + efectos inerciales	Frontal centrada	Capacidad de carga/máximo alcance								
		Capacidad de carga/mínimo alcance								
	Lateral centrada	Capacidad de carga/máximo alcance								
		Capacidad de carga/mínimo alcance								
	En esquina	Capacidad de carga/máximo alcance								
		Capacidad de carga/mínimo alcance								
C. Viento límite de operatividad en dirección frontal 1)	Frontal centrada	—								
C. Viento límite de operatividad en dirección transversal 1)	Lateral centrada	—								
E. Viento límite de operatividad en dirección 45° 1)	En esquina	—								
Notas — Condiciones de operación (equipo en servicio): $[A+B+C]$ (para cada una de las posiciones de la pluma y de la carga manipulada). 1) Las componentes debidas al viento se obtendrán para una velocidad V_0 . Conocidas las componentes debidas al viento asociadas con esta velocidad del viento pueden obtenerse las asociadas con cualquier otra velocidad V_1 multiplicándolas por la relación $(V_1/V_0)^2$.										

no restringida podrán definirse a través de valores nominales establecidos directamente por el Promotor cuando no esté en condiciones de explicitar en la fase de proyecto los equipos concretos o de valores representativos establecidos por criterios de explotación o bien por criterios ambientales, climáticos, legales o de seguridad existentes para la operatividad de los equipos previstos o de los buques de la flota esperable en el atraque

En el caso de que el Promotor fije directamente el valor nominal límite de dichas cargas deberá asociarlo a una velocidad y dirección del viento para poder combinar estas cargas con las producidas por los otros agentes de actuación simultánea y, también para poder asociar a las mismas una probabilidad de presentación en el emplazamiento necesaria para la verificación del nivel de operatividad de la instalación correspondiente al modo de parada operativa “realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado”. Cuando en una fase posterior se conozcan con detalle los equipos o éstos se adquieran por el explotador de la instalación de atraque deberá comprobarse que el valor representativo de las cargas transmitidas por los mismos en las condiciones de explotación que se establezcan, obtenido de acuerdo con la metodología definida en este apartado, no supera el valor nominal establecido. En caso contrario, deberán definirse nuevas condiciones límite de operatividad para dichos equipos más restrictivas con el objeto de garantizar esta condición. Lo mismo deberá realizarse si previamente a la entrada en servicio de la instalación de atraque o durante una fase de rehabilitación o readaptación de la misma a nuevas necesidades de la demanda se modifican los equipos previstos en la fase de proyecto.

Cuando estén definidos en la fase de proyecto los equipos de manipulación de movilidad no restringida, el valor representativo de las cargas transmitidas por los mismos se obtendrá como:

El valor más desfavorable para el modo de fallo analizado de las cargas que pueden ser transmitidas por los equipos en condiciones de servicio correspondientes a carga y descarga del buque, en las condiciones climáticas establecidas como límite para que dicho equipo pueda realizar dichas operaciones. Para el cálculo de estos valores, el valor representativo de la velocidad y dirección del viento deberá ser el correspondiente al estado de proyecto considerado, compatible con los valores representativos del resto de acciones climáticas que definen el estado meteorológico en dichas condiciones (Ver tabla 4.6.2.2), e idéntico al adoptado para la definición de los otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea que dependen del viento.

- Cuando el viento se adopte como el agente predominante para la definición del estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado, bien por la paralización de las operaciones de la grúa por condiciones de seguridad bien por causar movimientos del buque incompatibles con la realización de las citadas operaciones, se considerará para la definición de las cargas el valor menor de la velocidad del viento de entre los que limitan estas operaciones. En ausencia de información específica del Promotor o del Fabricante, así como a falta de estudios detallados entre movimientos del buque atracado y viento, se adoptará como viento límite para la realización de estas operaciones aquél cuya velocidad media en el intervalo (ráfaga) de 3 s a 10 m de altura sea $24 \text{ m/s} \approx 86 \text{ km/h}$ (Ver tabla 3.2.1.3).
- Cuando otro agente distinto del viento se considere el predominante para la definición de estados límite en esta condición de trabajo (p.e. el oleaje que produce la agitación máxima que impide las operaciones de carga y descarga por producir movimientos del buque no compatibles con la realización de estas operaciones o los niveles de agua que impiden las operaciones de los equipos por rebases u otras causas) se adoptará la velocidad del viento simultáneo compatible con el valor de dicho agente en dicho estado meteorológico (Ver apartado 4.6.2.1. Agentes climáticos). Estos estados límites deberán analizarse por si pudieran ser más desfavorables para el modo de fallo analizado considerando todas las cargas actuantes en estas condiciones de trabajo, aunque sean más limitativos en lo que respecta a la velocidad del viento). A los efectos de las cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida, únicamente se tomarán en consideración estas últimas situaciones si la velocidad del viento compatible

con las mismas no supera el valor umbral más limitativo establecido en aquellos casos en que se considera que el viento es el agente predominante para la definición del estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado.

Los órdenes de magnitud de los máximos movimientos horizontales y verticales de los buques admisibles para poder realizar las operaciones de carga y descarga por elevación se recogen en la tabla 4.6.4.22. A falta de estudios más precisos entre movimientos del buque atracado y agente climático actuante realizados de acuerdo con la metodología definida en el apartado 4.6.4.4.7.1.3. Cargas de amarre, epígrafes a_4 y b_2 , pueden adoptarse como valores del agente climático predominante que define el estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga por elevación del buque atracado los recogidos en la tabla 3.2.1.3.

En otras condiciones normales operativas de la instalación (p.e. operaciones de atraque o de permanencia del buque en el atraque) no se considerará la actuación de este agente.

- ◆ *En condiciones de trabajo extremas y en condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de viento de carácter extraordinario* no se consideran cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida.
- ◆ *En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea sismo o viento extraordinario*, se considera únicamente que el equipo está en servicio cuando se produce un estado asociado a la presentación de dicha acción accidental.

Cuando estén definidos en la fase de proyecto los equipos de manipulación de movilidad no restringida, en esta situación, el valor representativo de las cargas será su valor frecuente o su valor cuasi-permanente, en función de que el viento sea o no sea la acción climática predominante en el estado meteorológico considerado en estas condiciones. Estos valores se definirán como:

- Se adoptará como valor frecuente el más desfavorable para el modo de fallo analizado de las cargas que pueden ser transmitidas por el equipo en servicio, actuando el valor frecuente de la velocidad del viento (Ver tabla 4.6.2.2) y el cuasi-permanente de cargas en elevación y efectos inerciales asociados.
- Se adoptará como valor cuasi-permanente el más desfavorable para el modo de fallo analizado de las cargas que pueden ser transmitidas por el equipo en servicio actuando el valor cuasi-permanente de la velocidad del viento, de las cargas de elevación y de los efectos inerciales asociados. No obstante, cuando el viento sea dependiente del agente climático predominante en el estado meteorológico correspondiente a estas condiciones, se adoptará el valor de la velocidad del viento compatible con el valor representativo adoptado para el agente climático predominante (ver tabla 4.6.2.2).

La dirección adoptada para la velocidad del viento será la compatible con el resto de agentes climáticos que definen el estado meteorológico de proyecto en estas condiciones excepcionales y la misma que la adoptada para los otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea en dicho estado que dependan del agente viento.

Cuando en la fase de proyecto no se hayan explicitado los equipos, habiéndose definido valores nominales para condiciones de operación, simplifícadamente en estas condiciones excepcionales podrán adoptarse valores reducidos de las componentes verticales que para el caso del valor frecuente serán iguales a 0,95 los correspondientes a dichos valores nominales y para el caso del valor cuasi-permanente el 0,90 de dichos valores. En ambos casos se considerará que las componentes horizontales de actuación simultánea son nulas.

- ◆ *En condiciones de trabajo excepcionales o extremas debidas a la presentación de una acción sísmica* se considera que el equipo únicamente puede estar en servicio cuando se produce un estado

sísmico en el emplazamiento. (Ver apartado 4.6.2.4). En esta situación, a los efectos de la verificación de la obra de atraque y amarre pueden despreciarse las acciones horizontales debidas al sismo asociadas a la masa de la grúa.

Cuando estén definidos en la fase de proyecto los equipos de manipulación de movilidad no restringida, en esta situación el valor representativo de las cargas será su valor cuasi-permanente, definido en el epígrafe de condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario.

Cuando en la fase de proyecto no se hayan explicitado los equipos, habiéndose definido valores nominales para condiciones normales de operación, simplifícadamente en estas condiciones podrán adoptarse valores reducidos de las cargas verticales igual a 0,90 los correspondientes a los valores nominales. Así mismo se considerará que las componentes horizontales de actuación simultánea son nulas.

Los valores representativos de las cargas transmitidas por los equipos de movilidad no restringida cuando estén definidos en la fase de proyecto se resumen en la tabla 4.6.4.13.

En ausencia de información más precisa obtenida a partir de los datos suministrados por los fabricante para los equipos de manipulación de movilidad no restringida previstos por el Promotor en función del tipo de mercancía y del tamaño y características de la flota previsible de buques en el atraque, podrán adoptarse como órdenes de magnitud indicativos de los valores representativos de las cargas transmitidas por los equipos de manipulación de movilidad no restringida actualmente considerados como tipo los consignados en la tabla 4.6.4.14 para grúas móviles.

◆ Cargas mínimas

Las grúas móviles son cada vez más utilizadas como equipos de manipulación de mercancías en obras de atraque y amarre en las que estén previstos sistemas discontinuos de carga-descarga de los buques por elevación, debido a la versatilidad de dichos equipos para los operadores portuarios que están asumiendo las inversiones en equipos de manipulación, a su rápida movilidad que permiten su utilización en diferentes obras de atraque y a que la evolución tecnológica de los mismos está permitiendo alcanzar mejores rendimientos en las operaciones portuarias realizadas con estos equipos, haciéndolos progresivamente más competitivos en relación con los equipos de manipulación de movilidad restringida, particularmente para algunos tráficos.

Por dichas razones, es recomendable que las obras de atraque y amarre accesibles al tráfico rodado en las que se prevea la carga-descarga de los buques por elevación mediante sistemas discontinuos se considere siempre la actuación de este tipo de equipos, aunque inicialmente no estén previstos por el promotor. Además, en previsión de posibles variaciones razonables en las condiciones de utilización y criterios de explotación de las instalaciones durante la vida útil, es recomendable que se adopten como mínimo las siguientes cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida en las obras de atraque y amarre en función de los usos y de las características de los buques de proyecto:

- Para usos comerciales de graneles sólidos y mercancía general convencional ordinaria

En función de la manga del buque de manga máxima de la flota esperable en atraque, las cargas correspondientes a las grúas móviles incluidas en la tabla 4.6.4.14 tendrán la consideración de cargas mínimas en proyectos de obras de atraque y amarre para usos comerciales de graneles sólidos y mercancía general convencional ordinaria.

- Para usos comerciales de mercancía general convencional pesada, contenedores, ferris y multi-propósito, así como para usos industriales y militares
 - Para buques de la flota esperable en el atraque tipo Panamax, Post-Panamax y Super Post-Panamax, las cargas correspondientes a las grúas móviles incluidas en la tabla 4.6.4.14 tendrán

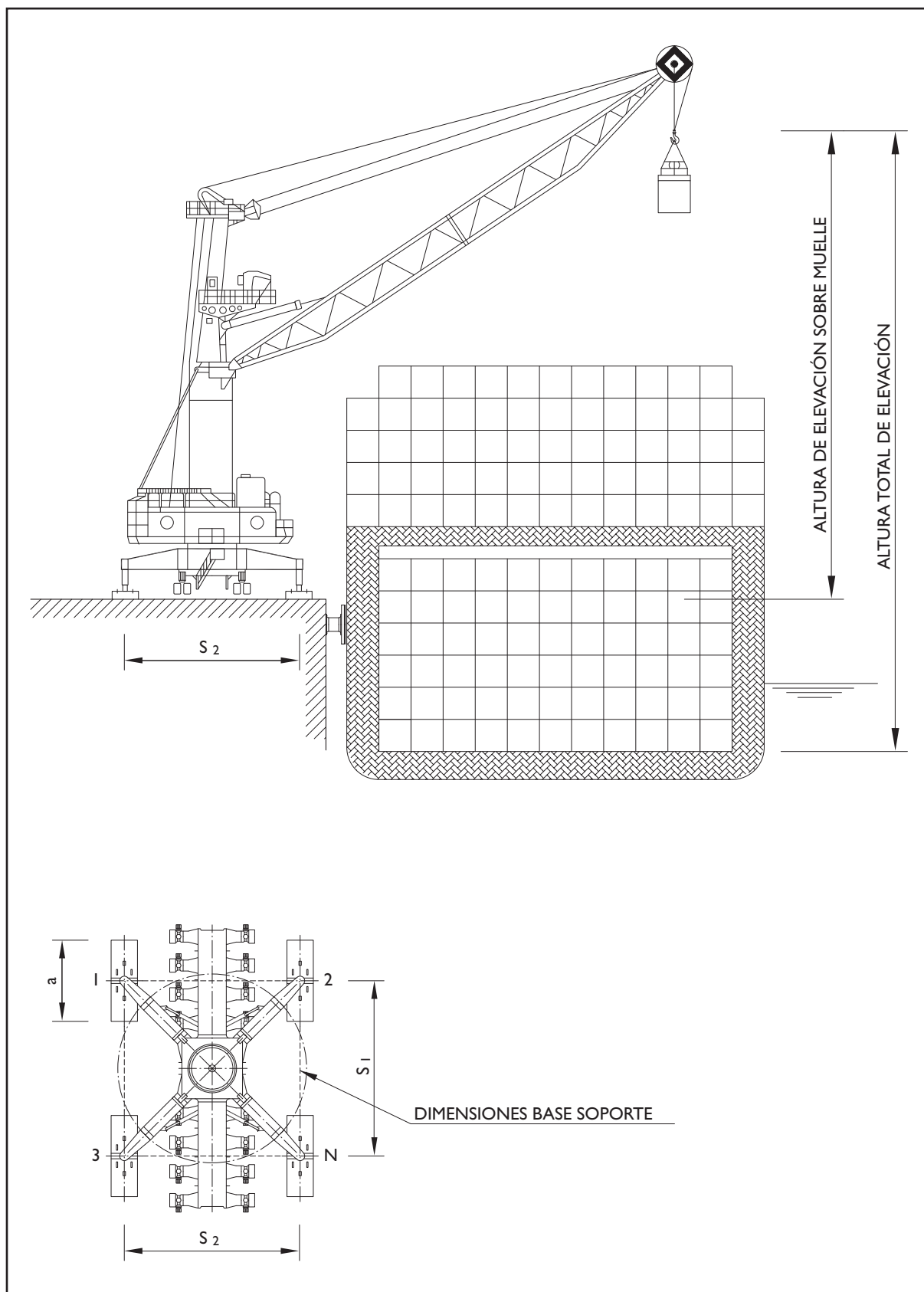
Tabla 4.6.4.13. Valores representativos de las cargas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías de movilidad no restringida (Grúas móviles) para la verificación de modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CARACTERÍSTICO ($q_{v,212k}$)	VALOR DE COMBINACIÓN ($\Psi_0 q_{v,212k}$)	VALOR FRECUENTE ($\Psi_1 q_{v,212k}$)	VALOR CUASI-PERMANENTE ($\Psi_2 q_{v,212k}$)
Condiciones de Trabajo Operativas correspondiente al estado límite de realización de las operaciones normales de carga y descarga con buque atracado (CT1,1)	Límites operativos establecidos para las operaciones de carga y descarga con buque atracado (carga más desfavorable transmitida por equipo en condiciones de servicio = [valores nominales de (peso propio+elevación de carga según alcance+efectos inerciales) + velocidad del viento límite de operatividad para realizar estas operaciones. En general $V_{v,3s} = 24$ m/s si el viento es el agente predominante considerado para la definición del estado límite ²⁾]			
Condiciones de Trabajo Extremas (CT2)	—	—	—	—
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de viento extraordinario (CT3,1)	—	—	—	—
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea sismo o viento extraordinario ²⁾ (CT3,2)	Cargas más desfavorables transmitidas por el equipo en situación de servicio = valor nominal del peso propio + valor cuasipermanente de las cargas de elevación según alcance y efectos inerciales asociados (0,8 valores nominales) + velocidad del viento correspondiente a:			
	—	—	Probabilidad absoluta de no excedencia del 85% tomada del régimen medio	Probabilidad absoluta de no excedencia del 50% tomada del régimen medio
Condiciones de Trabajo Extremas o Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32)	Cargas más desfavorables transmitidas por el equipo en situación de servicio = valor nominal del peso propio + valor cuasipermanente de las cargas de elevación según alcance y efectos inerciales asociados (0,8 valores nominales) + velocidad del viento correspondiente a:			
	—	—	—	Probabilidad absoluta de no excedencia del 50% tomada del régimen medio ³⁾
Notas 1) Si el agente predominante considerado para la definición del estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga es otro agente climático u operativo (p.e. el oleaje que produce la agitación máxima compatible con las operaciones de carga y descarga) se adoptará la velocidad del viento compatible con el valor considerado para dicho agente (ver apartado 4.6.2.1). 2) Se adoptará como valor representativo el valor frecuente cuando el viento sea el agente climático predominante para el modo de fallo analizado. En el caso de que el viento no fuera el agente climático predominante se adoptará el valor cuasi-permanente, salvo que el viento sea dependiente del agente climático predominante en cuyo caso se considerará para el viento el valor compatible con el adoptado para dicho agente. (Ver tabla 4.6.2.2) 3) En el caso de que el viento no sea el agente climático predominante y sea dependiente de este último se considerará para el viento el valor compatible con el adoptado para el predominante (Ver tabla 4.6.2.2). 4) El proyectista evaluará la incertidumbre estadística asociada a los datos disponibles con los que se ha estimado las funciones de distribución de la velocidad del viento. Salvo justificación detallada, para la obtención de los valores representativos de las cargas transmitidas por los equipos de manipulación se tomarán los valores superiores del intervalo de confianza del 90%.				

la consideración de cargas mínimas en proyectos de obras de atraque y amarre para usos comerciales de mercancía general convencional pesada, contenedores, ferris y multipropósito, así como para usos industriales y militares.

- Para buques de la flota esperable en el atraque tipo Feeder o Sub-Panamax, las cargas correspondientes a la grúa móvil 250/35 incluidas en dicha tabla tendrán la consideración de cargas mínimas, independientemente de la manga del máximo buque de proyecto.
- En obras de atraque y amarre *para el resto de usos*, independientemente del sistema de manipulación de mercancías previsto, las cargas transmitidas por la grúa móvil 100/25 incluidas en la tabla 4.6.4.14 tendrán la consideración de cargas mínimas, siempre que la obra de atraque sea accesible al tráfico rodado. En las obras de atraque y amarre no accesibles al tráfico rodado no se considerarán cargas mínimas transmitidas por equipos de manipulación de movilidad no restringida.

Tabla 4.6.4.14. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por grúas portuarias móviles estándar ⁶⁾



Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por grúas portuarias móviles estándar ⁶⁾ (continuación)

TIPO DE GRÚA MÓVIL						
Capacidad de carga bajo gancho (kN) con máximo alcance (m)	100/25	150/30	250/35	300/40	400/45	500/50
Capacidad de carga (kN) bajo gancho con mínimo alcance (m)	350/6	400/8	600/8	850/10	1.000/10	1.500/11
Tamaño buque máximo de proyecto ¹⁾	Feeder			Panamax	Post Panamax	Super Post Panamax
Tonelaje (TPM)	< 10.000	10.000-15.000	15.000-25.000	25.000-50.000	50.000-100.000	> 100.000
Manga del buque (m)	< 22,5	22,5-25	25-28,5	28,5-32,5	32,5-40	> 40
CARACTERÍSTICAS GRÚA						
Max. altura elevación sobre muelle (m)	18-22	18-25	25-30	30-32	30-35	35-38
Max. altura total de elevación (m)	30-33	33-35	40-45	45-47	45-50	50-53
Peso (kN)	800-1.200	1.100-1.500	1.800-2.400	2.500-3.000	3.000-4.000	4.000-4.500
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA						
Nº calzos estabilizadores (N)	4	4	4	4	4	4
Disposición de los calzos	rectangular	rectangular	rectangular	rectangular	rectangular	rectangular
Forma de los calzos	rectangular	rectangular	rectangular	rectangular	rectangular	rectangular
Tamaño (a x b) de los calzos ²⁾						
Dimensiones ($S_1 \times S_2$) de la base soporte (m x m)	10 x 8	12 x 9	11 x 10	11 x 11	12 x 12	15 x 12
MÁXIMA CARGA POR CALZO (KN) ^{3) 4)}						
En condiciones de operación ⁵⁾	Vertical	550	750	1.200	1.500	2.000
	Horizontal	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert
<p>Notas</p> <p>– Cuando, de acuerdo con lo previsto en esta Recomendación, se adopten los valores consignados en esta tabla para la definición de cargas mínimas, en aquellos parámetros que se incluya un rango de valores se utilizará a estos efectos el valor medio.</p> <p>1) El tipo de grúa que se recomienda en función del buque de manga máxima de la flota esperable en el atraque debe tomarse como especialmente indicada para obras de atraque y amarre de usos comerciales para graneles sólidos y mercancía general convencional ordinaria. Para obras de atraque multipropósito, ferris, carga convencional pesada y contenedores debe tomarse en consideración adicionalmente el peso unitario de las mercancías a manipular, por lo que es conveniente la utilización como mínimo de grúas móviles 250/35 para estos usos, independientemente de la manga del buque de manga máxima de la flota esperable en el atraque. Para el resto de usos, siempre que el tráfico rodado sea accesible a la instalación, es conveniente la utilización como mínimo de grúas móviles 100/25 en previsión de que pueda ser necesario utilizar una grúa móvil por cualquier causa (p.e. para el montaje, desmontaje o reparación de un brazo articulado de carga/descarga de graneles líquidos, la reparación de un buque pesquero o deportivo, etc.).</p> <p>2) No se incluyen tamaños tipo de calzos estabilizadores ya que éstos pueden ser muy variables en función del fabricante del equipo, adaptándose en general a los requerimientos del Promotor. A falta de datos más precisos pueden considerarse como usuales presiones del orden de 1.000 kN/m².</p> <p>3) Las cargas máximas por calzo estabilizador consignadas en esta tabla tienen únicamente un valor indicativo de su orden de magnitud para cada tipo de grúa, habiéndose obtenido del análisis de las correspondientes a diferentes fabricantes. Dependiendo del fabricante y de la configuración geométrica, las variaciones pueden ser significativas por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si esto no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores nominales máximos que no deben superarse por este tipo de equipos, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación.</p> <p>4) Del lado de la seguridad, puede considerarse que las cargas verticales sobre cada uno de los calzos estabilizadores puede inferirse a partir de la máxima carga por calzo, considerando que ésta actúa simultáneamente sobre dos calzos situados en un mismo lado del equipo, actuando sobre cada uno de los dos restantes las cargas resultantes de considerar que la suma de todas las cargas debe igualar a la suma de todas las cargas actuantes (peso propio + máxima carga izada + efectos inerciales). Los efectos inerciales pueden estimarse como el 15% de la máxima carga izada. La carga horizontal en cada calzo será el 5% de la máxima carga vertical, en la dirección de actuación del viento. En estos equipos puede considerarse que no es relevante la componente de la acción horizontal debida al viento.</p> <p>5) Considerando una velocidad de viento en el emplazamiento $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 24\text{ m/s}$ ($\approx 86\text{ km/h}$) en la dirección más desfavorable, incluyendo los efectos inerciales asociados al movimiento de la carga manipulada.</p> <p>6) Puede considerarse suficientemente aproximado adoptar como valores frecuente y cuasi-permanente de las cargas transmitidas por las grúas móviles los valores reducidos de las componentes verticales que para el caso del valor frecuente serán iguales a 0,95 los correspondientes a dichos valores nominales y para el caso del valor cuasi-permanente el 0,90 de dichos valores. En ambos casos se considerará que las componentes horizontales de actuación simultánea son nulas.</p>						

El resumen de las cargas mínimas transmitidas por equipos de manipulación de mercancías de movilidad no restringida a adoptar en las áreas de operación de obras de atraque y amarre en las que estén previstos sistemas de carga y descarga del buque mediante sistemas discontinuos por elevación se incluye en la tabla 4.6.4.23.

a₂) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable para dicha verificación en cada condición de trabajo sea la combinación poco probable o fundamental será de aplicación lo dispuesto en el epígrafe a₁) de este apartado para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos. Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable sea la combinación frecuente o cuasi-permanente (ver apartado 4.1.1.2) se adoptarán como valores representativos de las cargas transmitidas por equipos de manipulación de movilidad no restringida los valores frecuentes y cuasi-permanentes definidos en el epígrafe anterior.

a₃) Para la verificación de modos de parada operativa

El agente de uso y explotación cuyos límites de operatividad definen el modo de parada operativa correspondiente a la paralización de operaciones de carga y descarga con buque atracado es el agente “manipulación de mercancías mediante sistemas discontinuos por elevación con equipos (grúas móviles) de movilidad no restringida ($q_{v,212}$)” cuando la operativa de carga y descarga del buque se realiza mediante este tipo de equipos.

A los efectos de verificar este modo de parada operativa se considerará de aplicación lo dispuesto a estos efectos en el epígrafe a₃ del apartado 4.6.4.2.1.1.1. Cargas transmitidas por equipos fijos y de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación.

b) Para formulaciones probabilistas

Para formulaciones probabilistas es admisible considerar simplificadaamente que las cargas más desfavorables para el modo de fallo analizado transmitidas por equipos de movilidad no restringida durante el ciclo de sollicitación correspondiente a condiciones de trabajo operativas (realización de operaciones de carga y descarga) se comportan como deterministas cuando se definen directamente valores nominales límite de las mismas.

Cuando se definen límites de operatividad del equipo u otras condiciones de operatividad asociados a la velocidad del viento, se considerará, para cada configuración del equipo, posición de la carga y dirección del viento, que las componentes debidas al viento que se introducen en la relación funcional que relaciona en cada equipo las cargas transmitidas con los agentes causantes se derivan del régimen medio anual de la velocidad del viento, truncado por dicho umbral de operatividad. En los casos que se considere que la variable que define el ciclo de sollicitación correspondiente a éstas u otras condiciones operativas no sea el viento, se considerará que la componente debida al viento de las cargas transmitidas por los equipos, para cada configuración de los mismos, posición de la carga y dirección del viento se define a través de una función de distribución derivada de la función de distribución de la variable velocidad del viento condicionada al valor límite de operatividad de la variable climática que determina la operatividad de la instalación, siempre que puedan considerarse correlacionadas, y truncada, en su caso, en el límite de operatividad establecido para el viento por los fabricantes de los equipos o por el resto de causas de paralización de las operaciones. En el caso de que el viento se considere independiente del agente que condiciona las operaciones de carga y descarga u otras condiciones de operatividad, la función de distribución de la componente de las cargas debidas al viento se derivará del régimen medio de la velocidad del viento en el emplazamiento, truncado, en su caso, por el lími-

te de operatividad establecido para el mismo (ver apartado 4.6.2.1.b. Definición de los agentes climáticos para formulaciones probabilistas).

Para los ciclos de sollicitación correspondientes a condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental, así como a condiciones excepcionales o extremas debidas a la presentación de una acción sísmica, las funciones de distribución de las componentes debidas al viento de las cargas transmitidas por los equipos se derivarán de los regímenes medios marginales de la velocidad del viento (ver apartado 4.6.1.1.b), salvo en aquellos casos en los que la acción accidental está asociada a un determinado estado meteorológico y correlacionada con el viento. En este caso, las componentes debidas al viento de las cargas transmitidas por los equipos se derivarán de la función de distribución de la velocidad del viento condicionada al valor de la variable climática que define el estado meteorológico.

En ambos casos se considerará que las componentes debidas al peso propio del equipo que se introducen en la relación funcional que relaciona en cada equipo las cargas transmitidas con los agentes causantes se definen considerando su valor nominal y que las componentes debidas al peso y movimiento de la carga manipulada se definen considerando que la función de distribución del peso de la carga manipulada es una normal de media el 80% del valor nominal y coeficiente de variación 0,15.

En el caso de que se apliquen las cargas máximas incluidas en la tabla 4.6.4.14 correspondientes a grúas móviles estándar podrán considerarse como valores nominales de los límites operativos establecidos por criterios de explotación del equipo y por tanto, simplificadaamente, carentes de incertidumbre estadística durante la fase de servicio, siempre que sea el viento el agente que determine la operatividad de la instalación para las operaciones de carga y descarga.

Para la verificación probabilista del modo de parada correspondiente a la paralización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado será de aplicación lo dispuesto a estos efectos en el epígrafe b) del apartado 4.6.4.2.1.1.1 para los equipos de manipulación fijos y de movilidad restringida.

4.6.4.2.1.1.3. *Cargas transmitidas por equipos auxiliares sobre neumáticos, de movilidad no restringida, utilizados para el transporte horizontal y depósito ($q_{v,213}$)*

Los equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito son los necesarios para los traslados de las mercancías desde las zonas de almacenamiento y estacionamiento o desde los modos de transporte terrestre hasta el costado del buque o el área de operación, en los casos de carga del buque por elevación, o desde el costado del buque o el área de operación hasta su lugar de almacenamiento y estacionamiento o hasta los modos de transporte terrestre en los casos de descarga del buque por idéntico sistema. En general, estas operaciones de transporte horizontal de las mercancías suelen hacerse por medio de los siguientes tipos de equipos sobre neumáticos, de movilidad no restringida, seleccionados por el Promotor en función de las condiciones y criterios de explotación establecidos para la instalación, tomando en consideración las características de las mercancías a manipular, así como las condiciones de almacenamiento o estacionamiento adoptados para las mismas (altura de almacenamiento, anchura de pasillos de apilamiento, sistema de manipulación en áreas de almacenamiento, grado de automatización, ...):

- ◆ Carretillas elevadoras frontales (forklift truck) o de carga lateral (side loader). ⁽³⁶⁾
- ◆ Apiladores de alcance (reach stackers/log stackers/...). ⁽³⁷⁾
- ◆ Carretillas puente o pórtico (straddle carriers) o lanzadera (shuttle carriers).
- ◆ Unidades tractor-semiremolque (tractor-semitrailer) y sistemas multiplataforma (multi-trailer systems [MTS]).

(36) La terminología inglesa denomina forklift trucks o side loaders a las carretillas elevadoras de carga frontal o lateral respectivamente, independientemente del dispositivo o sistema de manipulación de las cargas que incorporen (horquillas, spreader, eslingas, etc.)

(37) La terminología inglesa distingue la denominación en función de los distintos dispositivos o sistemas de manipulación de las cargas que pueden incorporar las apiladoras de alcance: reach stackers para la manipulación de contenedores bajo spreader, log stacker para la manipulación de cargas fraccionadas como maderas o graneles mediante distintos tipo de abrazaderas, eslingas,...

- ◆ Camiones volquetes (dumpers).
- ◆ Vehículos automáticos autoguiados (AGV).
- ◆ Otros específicos: por ejemplo, manipuladores de bobinas (steel coil handlers), etc....

La utilización de cada uno de estos tipos no es excluyente. En la práctica, en función del tipo de los usos de la obra de atraque y amarre y de las condiciones de almacenamiento o estacionamiento pueden preverse sistemas de transporte horizontal formado por mezcla de los anteriormente expuestos. Además es previsible su variación a lo largo de la vida útil de la instalación.

Las cargas a tomar en consideración transmitidas por estos equipos son debidas fundamentalmente a las acciones y presiones verticales y a las acciones horizontales que se producen en las distintas ruedas de las que dispone el equipo en condiciones de equipo cargado. No se consideran las cargas transmitidas por los equipos en la situación de despliegue de calzos o plataformas de apoyo, ya que puede considerarse que la carga-descarga con este sistema no es compatible con los rendimientos exigibles para las áreas de operación, estando además cubiertas por las cargas mínimas correspondientes a grúas móviles exigidas por esta Recomendación.

Dichas cargas están asociadas fundamentalmente con los siguientes factores:

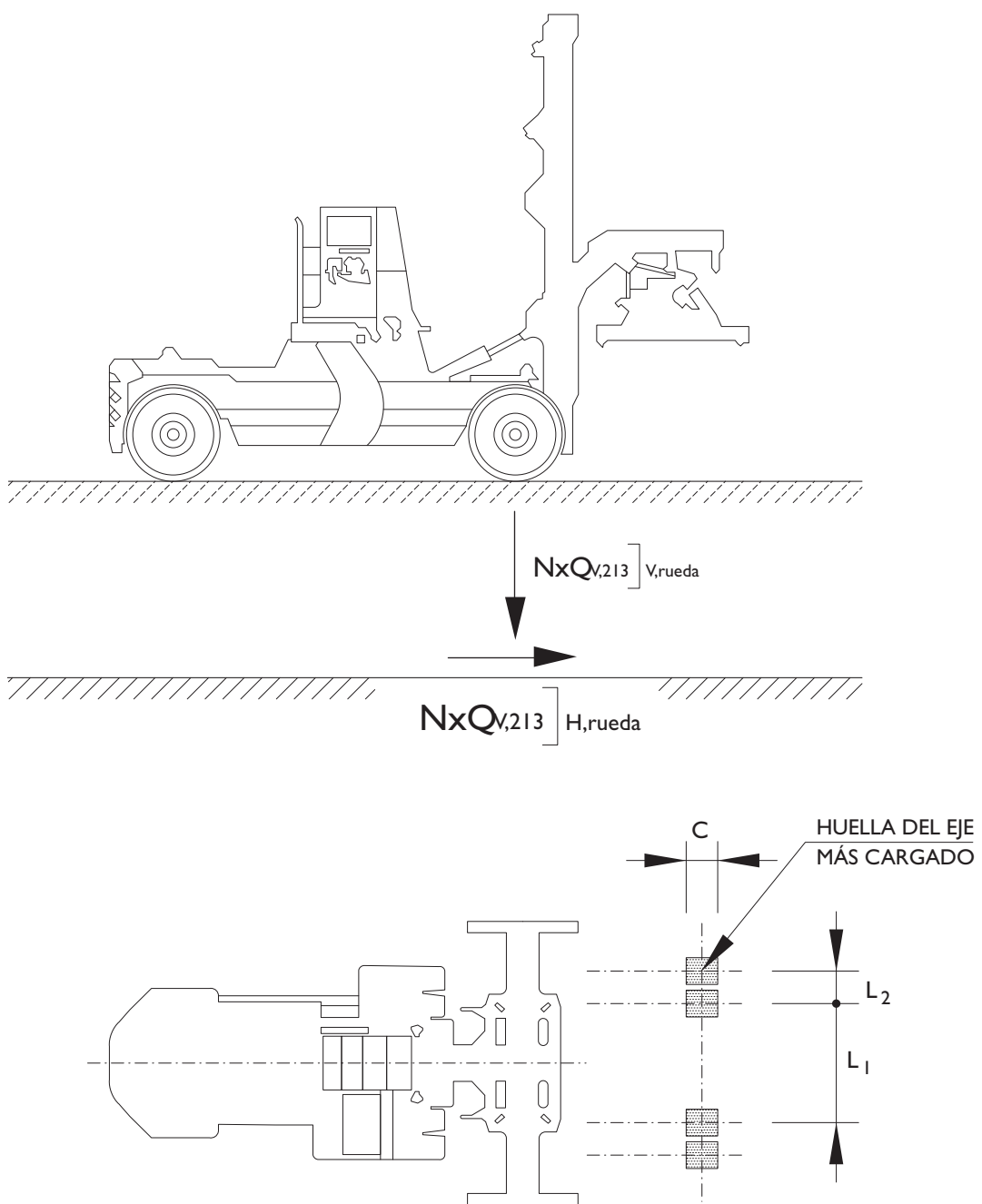
- ◆ Configuración geométrica del equipo, particularmente en lo que se refiere a la separación entre ejes, número y separación entre centros de las ruedas en cada eje, así como tamaño de las mismas y del área de contacto asociada.
- ◆ Peso propio del equipo.
- ◆ Capacidad de carga.
- ◆ Efectos inerciales asociados con el movimiento del equipo y con la elevación de la carga (impacto, traslación, frenada,...).
- ◆ Los efectos de los agentes del medio físico pueden considerarse como no significativos.

Los parámetros que definen a este agente para cada uno de los tipos de equipos auxiliares de transporte horizontal más comunes se incluyen en la tabla 4.6.4.15. La distribución espacial de las cargas transmitidas por cada equipo se considerará libre, limitada, en su caso, únicamente por su compatibilidad con las condiciones de explotación establecidas para la instalación. Para cada estado de proyecto, se adoptará la posición de las ruedas y la distribución de cargas entre cada una de ellas correspondiente a la configuración del equipo y posición de la carga que produzca el efecto más desfavorable para el modo de fallo analizado.

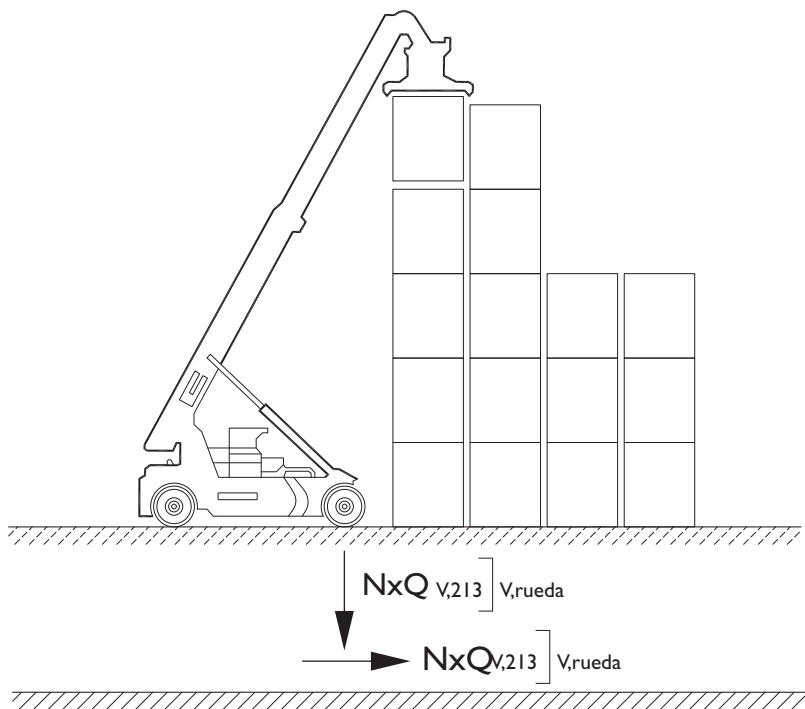
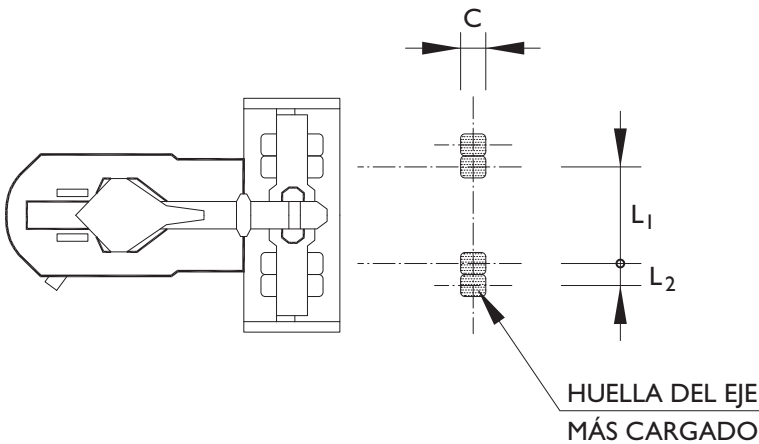
A los efectos de la verificación de modos de fallo globales y locales, en general será suficiente adoptar las cargas verticales correspondientes al eje simple o, en su caso tándem, más cargado correspondientes a un único equipo, considerando todas las configuraciones del equipo, carga y viento compatibles con el estado de proyecto analizado, conjuntamente con las cargas horizontales compatibles con las mismas. No será necesaria la consideración de este agente para la verificación de modos de fallo globales en aquellos casos en los que la sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento considerada en el emplazamiento sea mayor o igual que la sobrecarga uniforme equivalente a dichos equipos. Las cargas debidas a las carretillas elevadoras de carga lateral, a las carretillas puente, pórtico o lanzadera y a los sistemas tractor/plataformas, así como las debidas a las carretillas elevadoras frontales y a los apiladores de alcance con capacidad de elevación menor o igual a 150 kN se consideran cubiertas por las debidas al tráfico terrestre viario cuando éstas se consideren; es decir, en aquellas áreas abiertas o accesibles a este tipo de tráfico (Ver apartado 4.6.4.3.1 correspondiente a tráfico viario).

Al igual que las cargas transmitidas por los equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación, las cargas transmitidas por los equipos auxiliares de transporte horizontal de movilidad no restringida se considerarán únicamente en los estados de proyecto representativos de los ciclos de solitización asociados a la normal explotación de la instalación de atraque (condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga del buque), así como en los estados sísmicos y en los estados asociados a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario (condiciones de trabajo excepcionales), ya que cuando no está operando o se presentan condiciones de temporal (condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a viento extraordinario) se considera que el equipo está fuera de servicio, estacionándose en áreas alejadas de la obra de atraque y amarre. Las cargas transmitidas por

Tabla 4.6.4.15. Parámetros que definen las cargas transmitidas por equipos auxiliares sobre neumáticos, de movilidad no restringida, utilizados para el transporte horizontal y depósito

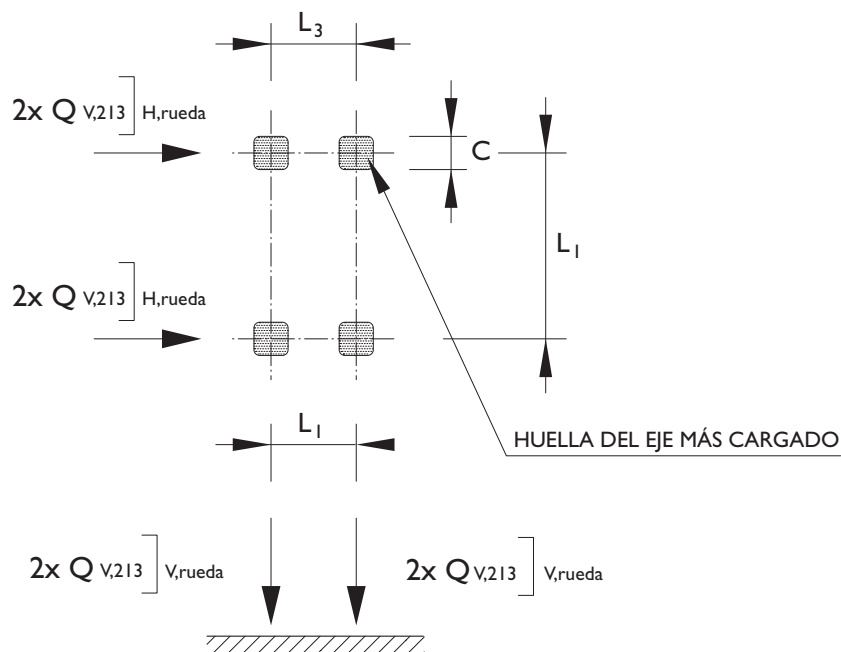
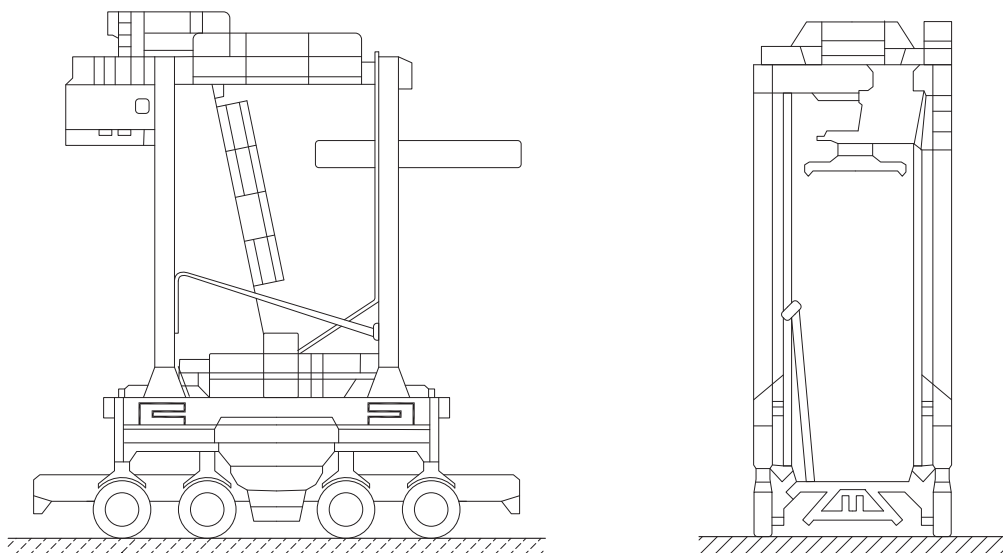
A. CARRETILLAS ELEVADORAS FRONTALES			
 <p>The diagram illustrates the load transmission from a front-loading forklift to the ground. The top part shows a side view of the forklift with a vertical load arrow labeled $N \times Q_{V,213} \mid V_{\text{rueda}}$ and a horizontal load arrow labeled $N \times Q_{V,213} \mid H_{\text{rueda}}$. The bottom part shows a top-down view of the wheel contact area, labeled 'HUELLA DEL EJE MÁS CARGADO', with dimensions C, L_1, and L_2.</p>			
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL EJE MÁS CARGADO	Nº de ruedas		N
	Posición de las ruedas	Separación entre centros de ruedas internas	L_1
		Separación entre centros de ruedas externa e interna	L_2
	Forma y dimensiones de las áreas de contacto		cuadrada de lado c
CARGA POR RUEDA EN EJE MÁS CARGADO	VERTICAL		$Q_{V,213} \mid V_{\text{Rueda}}$
	HORIZONTAL		$Q_{V,213} \mid H_{\text{Rueda}}$

Parámetros que definen las cargas transmitidas por equipos auxiliares sobre neumáticos, de movilidad no restringida, utilizados para el transporte horizontal y depósito (continuación)

B. APILADORES DE ALCANCE			
<div> </div>			
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL EJE MÁS CARGADO	Nº de ruedas		N
	Posición de las ruedas	Separación entre centros de ruedas internas	L_1
		Separación entre centros de ruedas externa e interna	L_2
	Forma y dimensiones de las áreas de contacto		cuadrada de lado c
CARGA POR RUEDA EN EJE MÁS CARGADO	VERTICAL		$Q_{V,213} _{V,Rueda}$
	HORIZONTAL		$Q_{V,213} _{H,Rueda}$

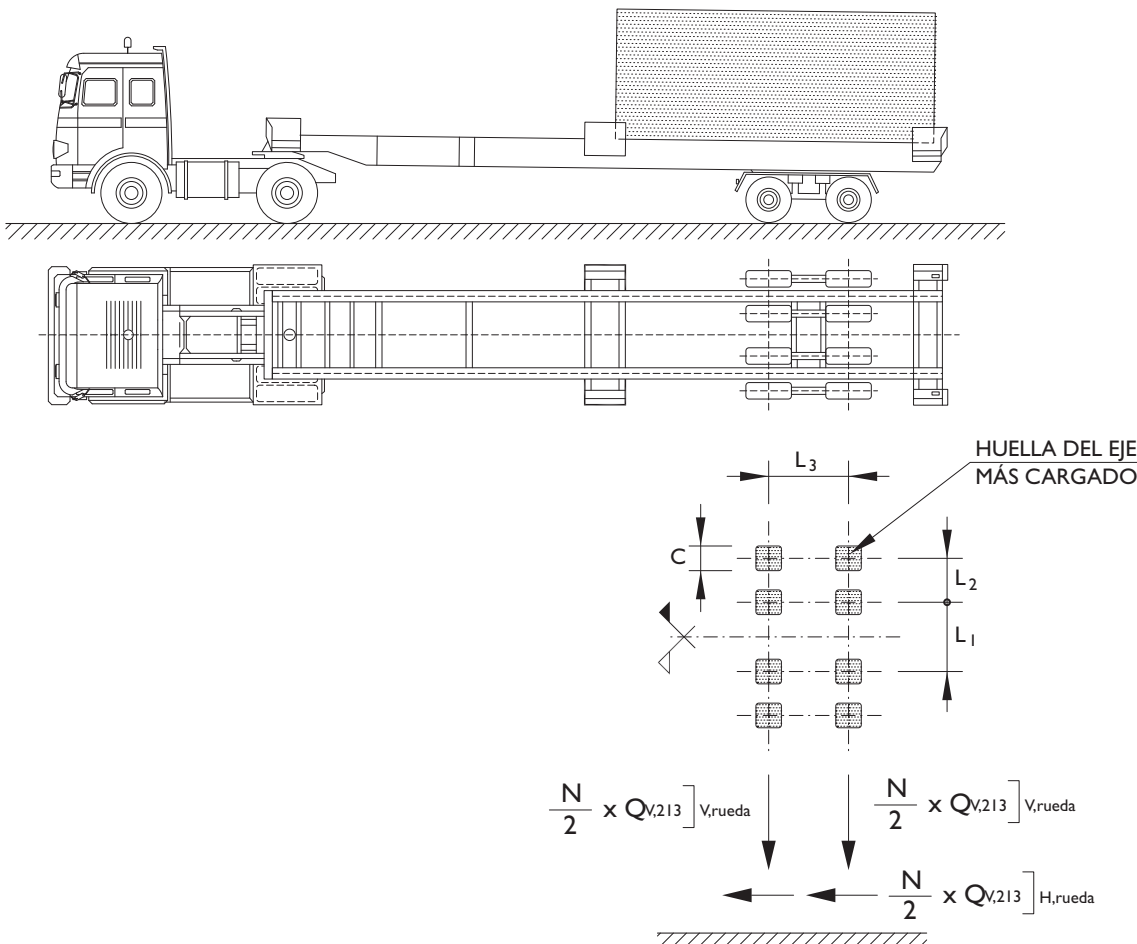
Parámetros que definen las cargas transmitidas por equipos auxiliares sobre neumáticos, de movilidad no restringida, utilizados para el transporte horizontal y depósito (continuación)

C. CARRETILLAS PUENTE, PÓRTICO O LANZADERA



CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL EJE MÁS CARGADO	Tipo de sistemas de ejes		Simple o tándem
	Posición de las ruedas	Separación entre centros de ruedas internas	L_1
		Separación entre centros de ruedas en tándem	L_3
	Forma y dimensiones de las áreas de contacto		cuadrada de lado c
CARGA POR RUEDA EN EJE MÁS CARGADO	VERTICAL		$Q_{V,213} _{V,Rueda}$
	HORIZONTAL		$Q_{V,213} _{H,Rueda}$

Parámetros que definen las cargas transmitidas por equipos auxiliares sobre neumáticos, de movilidad no restringida, utilizados para el transporte horizontal y depósito (continuación)

D. UNIDADES TRACTOR-SEMIREMOLQUE Y SISTEMAS MULTIPLATAFORMA			
			
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL EJE MÁS CARGADO	Tipo de sistema de ejes		Simple o tándem
	Nº de ruedas		N
	Posición de las ruedas	Separación entre centros de ruedas internas	L_1
		Separación entre centros de ruedas externa e interna	L_2
		Separación entre centros de ruedas en tándem	L_3
	Forma y dimensiones de las áreas de contacto		cuadrada de lado c
CARGA POR RUEDA EN EJE MÁS CARGADO	VERTICAL		$Q_{v,213} _{V,Rueda}$
	HORIZONTAL		$Q_{v,213} _{H,Rueda}$

cada uno de los equipos en estas condiciones se considerarán cargas compuestas, obteniéndose a partir de la combinación de las acciones simultáneas y compatibles que actúan sobre los equipos en dichos estados; es decir, las debidas al peso propio del equipo y a la carga manipulada (incluyendo los efectos inerciales asociados con el movimiento del equipo y de la carga), tomando en consideración, en su caso, las diferentes posiciones de la carga manipulada. Para ello, el fabricante del equipo deberá suministrar las cargas verticales y horizontales transmitidas por cada agente, actuando aisladamente, sobre el eje más cargado, considerando para cada una de ellas, en el caso de que sea relevante (p.e. para los apiladores de alcance), las combinaciones máxima capacidad de carga/alcance. En este sentido es recomendable solicitar estos datos al fabricante de los equipos auxiliares, diferenciando los debi-

dos al peso propio del equipo de los debidos a la carga manipulada, de forma que sea posible definir los valores representativos y, en su caso, las funciones de distribución asociados con dichas cargas.

En función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, las cargas transmitidas por los equipos auxiliares sobre neumáticos, de movilidad no restringida, de transporte horizontal y depósito se definirán:

a) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas

a₁) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos

- ◆ *Para condiciones de trabajo operativas correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de transporte horizontal y depósito, las cargas transmitidas por los equipos podrán definirse a través de valores nominales establecidos directamente por el Promotor cuando no esté en condiciones de explicitar en la fase de proyecto los equipos concretos o de valores representativos establecidos por criterios de explotación o bien por criterios ambientales, climáticos, legales o de seguridad existentes para la operatividad de los equipos previstos o de los buques de la flota esperable en el atraque.*

En el caso de que el Promotor fije directamente el valor nominal límite de dichas cargas, no será necesario asociarlo a una velocidad y dirección del viento ya que se considera que en este tipo de equipos los efectos de los agentes del medio físico no son significativos para las cargas transmitidas. No obstante lo anterior, puede considerarse que estos valores nominales están asociados, como máximo, con la velocidad del viento límite para la cual este tipo de equipos pueden realizar las operaciones de transporte horizontal y depósito en condiciones seguras [generalmente una velocidad media en el intervalo (ráfaga) de 3 s a 10 m de altura de 24 m/s (\approx 86 km/h)].

Cuando en una fase posterior se conozcan con detalle los equipos o éstos se adquieran por el explotador de la instalación de atraque, deberá comprobarse que el valor representativo de las cargas transmitidas por los mismos, obtenido de acuerdo con la metodología definida en este apartado, no supera el valor nominal establecido. En caso contrario, deberán definirse condiciones de explotación de los mismos más restrictivas con el objeto de garantizar esta condición (p.e. limitar el peso máximo de la mercancía manipulada o, en algún tipo de equipos, el alcance). Lo mismo deberá realizarse si previamente a la entrada en servicio de la instalación de atraque o durante una fase de rehabilitación o readaptación de la misma a nuevas necesidades de la demanda se modifican los equipos previstos en la fase de proyecto.

Cuando estén definidos en la fase de proyecto los equipos auxiliares para transporte horizontal y depósito de movilidad no restringida, el valor representativo de las cargas transmitidas por los mismos se obtendrá como:

- El valor más desfavorable para el modo de fallo analizado de las cargas que pueden ser transmitidas por dichos equipos en condiciones de servicio y en situación de rodadura, en las condiciones climáticas establecidas como límite para que dichos equipos puedan realizar las operaciones de transporte horizontal y depósito. Únicamente a estos efectos y con el objeto de simplificar los estados operativos a verificar, las condiciones climáticas límite establecidas para las operaciones de transporte horizontal y depósito en áreas de operación se considerarán las mismas que para las operaciones de carga y descarga con buque atracado mediante equipos con capacidad de carga y descarga del buque por elevación (Ver apartados 4.6.4.2.1.1.1 y 4.6.4.2.1.1.2), dada la poca relevancia que tienen los efectos del viento en las cargas transmitidas por los equipos de transporte y depósito debido al tamaño, características y condiciones de operación de los mismos. No obstante, en el caso de que los fabricantes de los equipos auxiliares de transporte y depósito establecieran por criterios de seguridad condiciones climáticas de operación mucho más restrictivas que las resultantes

para los equipos de carga y descarga del buque por elevación, se consideraría que esas también limitan la realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado.

Simplificadamente, en otras condiciones operativas de la instalación (p.e. operaciones de atraque o de permanencia del buque en el atraque) no se considerará la actuación de este agente.

- ◆ *En condiciones de trabajo extremas y en condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación del agente climático viento de carácter extraordinario no se considerarán cargas transmitidas por equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito de movilidad no restringida.*
- ◆ *En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario y en condiciones excepcionales o extremas debidas a la presentación de una acción sísmica, se considera únicamente la situación de equipo en servicio cuando se produce el estado asociado a la presentación de la acción accidental o sísmica.*

Cuando estén definidos en la fase de proyecto los equipos auxiliares de manipulación y depósito, en esta situación el valor representativo de las cargas será su valor cuasi-permanente, que se definirá como:

- El valor más desfavorable para el modo de fallo analizado de las cargas que pueden ser transmitidas por el equipo en servicio actuando el valor cuasi-permanente de las cargas de elevación y de los efectos inerciales asociados (Ver tabla 4.6.4.10). Dado que las acciones debidas al viento son poco significativas en relación con las componentes debidas a los otros agentes por causa del tamaño, características y condiciones de operación de estos equipos, simplificadamente en esta situación es aceptable no tomar en consideración la componente debida al viento. En la situación sísmica, a los efectos de la verificación de la obra de atraque y amarre pueden despreciarse las acciones horizontales debidas al sismo asociadas a la masa del equipo auxiliar.

Cuando en la fase de proyecto no se hayan explicitado los equipos concretos, habiéndose definido valores nominales para condiciones de trabajo normales de operación, simplificadamente en estas condiciones de trabajo excepcionales podrán adoptarse valores reducidos de las componentes verticales iguales a 0,90 los correspondientes a dichos valores nominales si las condiciones de explotación de la instalación prevén que los equipos auxiliares sean del tipo carretilla frontal, apilador de alcance o carretilla puente, pórtico o lanzadera. Cuando prevean que los equipos auxiliares sean unidades tractor-remolque o sistemas multiplataforma se adoptarán valores reducidos igual a 0,80 los correspondientes a los valores nominales ⁽³⁸⁾. Si en la fase de proyecto se desconocen completamente los tipos de equipos auxiliares se adoptará, del lado de la seguridad, el coeficiente 0,90. En estos casos podrá considerarse que las componentes horizontales de actuación simultánea son nulas.

Los valores representativos de las cargas transmitidas por los equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito cuando estén definidos en la fase de proyecto se resumen en la tabla 4.6.4.16.

En ausencia de información más precisa obtenida a partir de los datos suministrados por el fabricante para los equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito de movilidad no restringida previstos por el Promotor en función de las condiciones y criterios de explotación de la instalación adoptados, podrán adoptarse como órdenes de magnitud indicativos de los valores representativos de las cargas transmitidas por los equipos portuarios auxiliares considerados actualmente como estándar los consignados en la tabla 4.6.4.17, los cuales incluyen la amplificación dinámica y los efectos inerciales debidos a la traslación, frenada, etc.

(38) En situación equivalente, cuando en sistemas discontinuos de manipulación de mercancías por medios rodantes se prevean unidades tractor-plataforma rodantes (Ver apartado 4.6.4.2.1.2.1), se aplicará un coeficiente 0,9 a los valores nominales de las cargas transmitidas por la unidad tractora y 0,8 a los valores nominales de las cargas transmitidas por la plataforma rodante.

Tabla 4.6.4.16. Valores representativos de las cargas transmitidas por equipos auxiliares sobre neumáticos de transporte horizontal y depósito, de movilidad no restringida (Para la verificación de modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos) ¹⁾

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CARACTERÍSTICO ($q_{v,213k}$)	VALOR DE COMBINACIÓN ($\Psi_0 q_{v,213k}$)	VALOR FRECUENTE ($\Psi_1 q_{v,213k}$)	VALOR CUASI-PERMANENTE ($\Psi_2 q_{v,213k}$)
Condiciones de Trabajo Operativas correspondiente al estado límite de realización de las operaciones de transporte horizontal y depósito (CT1) ²⁾	Límites operativos establecidos para las operaciones de transporte horizontal y depósito ³⁾ (carga más desfavorable transmitida por equipo en condiciones de servicio = [valores nominales de (peso propio + elevación de carga según alcance+efectos inerciales) + velocidad del viento límite de operatividad para realizar estas operaciones. En general $V_{v,3s} = 24 \text{ m/s}$ si el viento es el agente predominante considerado para la definición del estado límite ⁴⁾]			
Condiciones de Trabajo Extremas (CT2)	—	—	—	—
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de viento extraordinario (CT3,1)	—	—	—	—
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario (CT3,2) y condiciones extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32)	Cargas más desfavorables transmitidas por el equipo en situación de servicio = valor nominal del peso propio + valor cuasipermanente de las cargas de elevación según alcance y efectos inerciales asociados correspondiente a:			
	—	—	—	0,80 las cargas nominales de elevación según alcance
Notas 1) Esta tabla también es de aplicación a los equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes (Ver apartado 4.6.4.2.1.2.1). 2) Con el objeto de simplificar los estados operativos a considerar, con carácter general esta condición se considera que es la misma que la de carga y descarga del buque. 3) Simplificadamente, las condiciones climáticas límite establecidas para las operaciones de transporte horizontal y depósito en áreas de operación se considerarán las mismas que las de las operaciones de carga y descarga con buque atracado. En el caso de que los fabricantes de los equipos de transporte y depósito establecieran por criterios de seguridad condiciones climáticas de operación para los mismos mucho más restrictivas que las resultantes para los equipos de carga y descarga del buque por elevación, se consideraría que éstas también limitan la realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado. 4) Si el agente predominante para la definición del estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga es otro agente climático (p.e. el oleaje que produce la agitación máxima compatible con las operaciones de carga y descarga) se adoptará la velocidad del viento compatible con el valor adoptado para dicho agente.				

◆ **Cargas mínimas**

En previsión de posibles variaciones razonables en las condiciones de utilización y criterios de explotación de la obra de atraque y amarre durante su vida útil o de incertidumbres que puedan producirse entre la fase de proyecto y de servicio de la obra, es recomendable que se adopten como mínimo las siguientes cargas transmitidas por equipos portuarios auxiliares de movilidad no restringida en las áreas de operación de obras de atraque y amarre en las que estén previstos sistemas de carga y descarga del buque mediante sistemas discontinuos por elevación, aunque la utilización de dichos equipos auxiliares no esté inicialmente prevista o detallada por el Promotor:

- Para usos comerciales de mercancía general convencional ordinaria

Las cargas correspondientes a las carretillas elevadoras frontales con capacidad de elevación de carga de 200 kN incluidas en la tabla 4.6.4.17.

- Para usos comerciales de mercancía general convencional pesada, ro-ro, ferris y multipropósito, así como para los usos industrial y militar

Las cargas correspondientes a las carretillas elevadoras frontales con capacidad de elevación de carga de 300 kN incluidas en la tabla 4.6.4.17.

■ Para usos comerciales de contenedores

Las cargas correspondientes a los apiladores de alcance del tipo 450/300/150 incluidas en la tabla 4.6.4.17.

En obras de atraque y amarre *para el resto de usos* no se considerarán cargas mínimas debidas a equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito siempre que el área de operación de la obra de atraque sea accesible a tráfico rodado viario ya que, en estos casos, las cargas mínimas debidas a equipos auxiliares pueden considerarse cubiertas por las cargas debidas al tráfico viario terrestre.

En las obras de atraque y amarre no accesibles al tráfico rodado viario tampoco se considerarán cargas mínimas transmitidas por equipos auxiliares, lo que no significa que el Promotor no pueda considerar la actuación de equipos auxiliares de transporte y depósito en función de las condiciones de explotación definidas para la instalación.

El resumen de las cargas mínimas transmitidas por equipos auxiliares de transporte y depósito de movilidad no restringida a adoptar en las áreas de operación de obras de atraque y amarre en las que esté prevista la carga y descarga del buque mediante sistemas discontinuos por elevación se incluye en la tabla 4.6.4.23.

a₂) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable para dicha verificación en cada condición de trabajo sea la combinación poco probable o fundamental será de aplicación lo dispuesto en el epígrafe <a₁> de este apartado para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos. Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable sea la combinación frecuente o cuasi-permanente (ver apartado 4.1.1.2) se adoptarán como valores representativos de las cargas transmitidas por equipos de manipulación de movilidad no restringida el valor cuasi-permanente definido en el epígrafe anterior.

Tabla 4.6.4.17. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por equipos portuarios auxiliares estándar de transporte y depósito de movilidad no restringida ¹³⁾

A. CARRETILLAS ELEVADORAS FRONTALES								
TIPO DE CARRETILLA ELEVADORA FRONTAL ¹⁾								
Capacidad de elevación de carga (kN)			100 ²⁾	150	200	300	400	500
Características del equipo	Max. altura elevación sobre muelle (m)		4,0-18,0	4,0	4,0	5,0-10,0	5,0-10,0	5,0-10,0
	Peso (kN)		150-400	200	300	400-600	500-700	600-750
Configuración geométrica del eje más cargados	N° ruedas (N)		4	4	4	4	4	4
	Separación (L_1) centros ruedas int (m)		1,50-2,60	1,60	1,80	2,20-2,50	2,40-2,70	2,60-2,70
	Separación (L_2) centros ruedas ex/in (m)		0,40	0,40	0,40	0,40	0,60	0,60
	Dimensiones (cxc) área contacto (m x m)		³⁾	³⁾	³⁾	³⁾	³⁾	³⁾
Máxima carga por rueda en el eje más cargado (kN) ⁴⁾	Sin operación	Vertical	30-70	40	60	80-90	90-100	110-120
	En condiciones de operación ⁵⁾	Vertical	50-80	65	110	180	240	300
		Horizontal	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert
Carga vertical uniforme equivalente (kN/m ²)			20	23	25	30	35	40

Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por equipos portuarios auxiliares estándar de transporte y depósito de movilidad no restringida ¹³⁾ (continuación)

B. APILADORES DE ALCANCE								
TIPO DE APILADOR DE ALCANCE ⁶⁾								
Capacidad de elevación de carga (kN)	Bajo spreader en 1ª/2ª/3ª pila o vía		100/100/50 ⁷⁾				400/300/150 ⁹⁾	450/450/300 ¹⁰⁾
	Bajo abrazadera con mínimo alcance			150 ⁸⁾	250 ⁸⁾	300 ⁸⁾		
Características del equipo	Max. altura elevación sobre muelle (m)		15-18	7-9	7-9	7-9	12-15	10-12
	Peso (kN)		400	450	700	750	750	1000
Configuración geométrica del eje más cargado	Nº ruedas (N)		4	4	4	4	4	4
	Separación (L_1) centros ruedas int (m)		2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
	Separación (L_2) centros ruedas ex/in (m)		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	Dimensiones (cxc) área contacto (m x m)		3)	3)	3)	3)	3)	3)
Máxima carga por rueda en el eje más cargado (kN) ⁴⁾	Sin operación	Vertical	60	65	85	90	90	110
	En condiciones de operación ⁵⁾	Vertical	85	100	150	200	275	330
		Horizontal	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert
Carga vertical uniforme equivalente (kN/m²)			20	25	28	30	35	40
C. CARRETILLAS (PUENTE, PÓRTICO O LANZADERA)								
TIPO DE CARRETILLA			LANZADERA		PUENTE O PÓRTICO			
Capacidad de elevación de carga(kN)/Máxima altura de elevación (nº contenedores)			400/2	500/2	400/3	400/4	500/3	500/4
Características del equipo	Peso (kN)		430	450	600	660	620	680
	Tipo de sistemas de eje		simple	simple	tándem	tándem	tándem	tándem
Configuración geométrica de ejes más cargados	Separación (L_1) centros de ruedas (m)		4,40	4,40	4,40	4,40	4,40	4,40
	Separación (L_3) centros de ruedas en tándem (m)		—	—	2,10	2,10	2,10	2,10
	Dimensiones (cxc) área contacto (m x m)		3)	3)	3)	3)	3)	3)
Máxima carga por rueda en el eje más cargado (kN) ⁴⁾	Sin operación	Vertical	110	115	75	85	80	85
	En condiciones de operación ⁵⁾	Vertical	200	240	125	135	140	150
		Horizontal	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert
Carga vertical uniforme equivalente (kN/m²)			15	20	15	15	20	20
D. UNIDADES TRACTOR-SEMIREMOLQUE Y SISTEMAS MULTIPLATAFORMA ¹¹⁾								
TIPO DE PLATAFORMA								
Capacidad de carga (kN)			500 ¹¹⁾			650 ¹²⁾		
Características del equipo	Peso (kN)		65-80			85-95		
	Tipo de sistemas de eje		simple			tándem		
	Longitud (m)		14,10			14,15		
Configuración geométrica de ejes más cargados	Nº de ruedas (N)		4			8		
	Separación (L_1) entre centros de ruedas internas (m)		1,70			1,70		
	Separación (L_2) entre centros de ruedas externa e internas (m)		0,40			0,40		
	Separación (L_3) entre centros de ruedas en tándem (m)		—			1,30		
	Dimensiones (cxc) área contacto (m x m)		3)			3)		

Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por equipos portuarios auxiliares estándar de transporte y depósito de movilidad no restringida ¹³⁾ (continuación)

Máxima carga por rueda en el eje más cargado (kN) ⁴⁾	Sin operación	Vertical	10	6
	En condiciones de operación ⁵⁾	Vertical	75-70	6,5
		Horizontal	0,05 Vert	0,05 Vert
Carga vertical uniforme equivalente (kN/m ²)			15	15

Notas

1)

Quando se dan rangos de valores para un tipo de carretillas elevadoras frontales, estos valores son función de los dispositivos o sistemas de elevación de la carga que pueden incorporar. En general, los valores menores se corresponden con horquillas y los mayores con sistemas laterales de elevación o spreader superior.

2)

Los valores mayores corresponden a equipos para manipulación de contenedores vacíos mediante spreader lateral o superior.

3)

Para obtener las dimensiones del área de contacto pueden considerarse presiones del orden de 800 kN/m².

4)

Las máximas cargas por rueda consignadas en esta tabla tienen únicamente un valor indicativo de su orden de magnitud para cada tipo de equipo, habiéndose obtenido del análisis de los correspondientes a diferentes fabricantes. Dependiendo del fabricante y de la configuración geométrica, las variaciones pueden ser significativas por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si éste no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores nominales máximos que no deben superarse por este tipo de equipos, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación. Las acciones horizontales se considerarán en la dirección de circulación de los equipos.

5)

Considerando una velocidad del viento en el emplazamiento $V_{v,3s}$ (10 m) = 24 m/s (≅ 86 km/h) e incluyendo la amplificación dinámica y los efectos inerciales asociados al movimiento de la carga y del equipo (traslación o frenada). No se incluyen los efectos debidos a posibles giros de los equipos. En las zonas en las que concentren giros de estos equipos puede considerarse que las cargas transmitidas son un 30% superiores a las consignadas en la tabla. En estos equipos puede considerarse que no es relevante la componente de la acción horizontal debida al viento. Por dicha razón, simplificadaamente se podrá considerar que las cargas incluidas en esta tabla son válidas para cualquier velocidad del viento menor o igual que la fijada como límite de operación.

6)

Los apiladores de alcance son equipos que permiten manipular cargas que se encuentran situadas alejadas del chasis del equipo. Particularmente, en el caso de los contenedores o plataformas permiten la manipulación de los que se encuentran situados en las pilas 2ª y 3ª sin necesidad de mover los de la primera. Por dicha razón estos equipos se definen normalmente por su capacidad de elevación de carga situada en la primera, segunda y tercera pila o vía. Sin embargo, los apiladores de alcance para la manipulación de cargas fraccionadas mediante abrazaderas se definen por su capacidad de elevación de carga con mínimo alcance.

7)

Apiladores de alcance utilizados generalmente para la manipulación de contenedores vacíos.

8)

Apiladores de alcance utilizados generalmente para la manipulación de carga fraccionada.

9)

Apiladores de alcance utilizados generalmente para la manipulación de contenedores cargados.

10)

Apiladores de alcance utilizados generalmente para la manipulación intermodal (contenedores y cajas móviles sobre plataformas o ferrocarril).

11)

Las plataformas portuarias, también denominadas chasis, se distinguen de las de carretera fundamentalmente por el peso que pueden soportar. El peso máximo por carretera no suele superar los 300 kN de carga útil, dependiendo de cada país. Sin embargo, en los puertos al no regir el principio de pesos máximos establecidos para los camiones, una plataforma puede llegar a cargar dos contenedores de 20' ó uno de 40 ó 45'. Estos equipos suelen ser remolcados por unidades tractoras con capacidad de elevación de la 5ª rueda de la plataforma de 250 a 300 kN y una capacidad de remolque de hasta 800 kN. En el caso de sistemas multiplataformas son necesarias unidades tractoras con mayor capacidad de remolque. Las cargas por eje transmitidas por estas unidades tractoras son menores que las transmitidas por las plataformas o chasis por lo que pueden no tomarse en consideración específicamente. Así mismo, las unidades incluidas en esta tabla se distinguen de las unidades tractor-plataforma rodante de bajo gálibo descritas en el apartado de equipos con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes o roll trailers (apartado 4.6.4.2.1.2.1) en que las plataformas correspondientes a estos últimos equipos tienen características completamente diferentes debido a que están diseñadas para facilitar su acceso al interior de los buques y permanecer conjuntamente con la mercancía en el interior de los mismos. Se diferencian fundamentalmente por ser estas últimas de baja altura y tener ruedas de pequeño diámetro de caucho sólido (Comparar figura D de la tabla 4.6.4.15 con figura B de la tabla 4.6.4.18).

12)

Quando se dan rangos de valores para un tipo de plataforma, los primeros están asociados con semirremolques y los segundos con plataformas para sistemas multiplataforma.

13)

Puede considerarse suficientemente aproximado adoptar como valor cuasi-permanente de las cargas transmitidas por los equipos auxiliares de transporte y depósito incluidos en esta tabla el 0,90 del valor de las componentes verticales en condiciones de operación en los casos de carretillas frontales (A), apiladores de alcance (B) y carretillas puente, pórtico o lanzadera (C). Para unidades tractor-remolque y sistemas multiplataforma (D) se adoptará un coeficiente reductor de 0,80. En todos los casos se considerará que las componentes horizontales de actuación simultánea son nulas.

a₃) Para la verificación de modos de parada operativa

Salvo que el Promotor de la instalación de atraque y amarre especifique lo contrario, se considerará que el modo de parada operativa correspondiente a la paralización de las operaciones de transporte horizontal y depósito queda verificado al comprobar el modo de parada operativa correspondiente a la paralización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado, al adoptarse simplificadaamente como criterio de explotación que las operaciones de transporte horizontal y

depósito en las áreas de operación se paralizan cuando se paralizan las correspondientes a la carga y descarga del buque.

En el caso de que el Promotor de la instalación defina límites de operatividad para el agente “equipos auxiliares sobre neumáticos, de movilidad no restringida, utilizados para el transporte horizontal o depósito ($q_{v,213}$)”, asociados con otros criterios de explotación, deberá verificarse expresamente este modo de parada operativa. En estos casos, la verificación del nivel de operatividad asociada a este modo de parada se realizará definiendo la probabilidad de no excedencia del valor de la velocidad del viento que paraliza las operaciones de transporte horizontal y depósito por medio del régimen medio y de persistencias de dicho parámetro en el emplazamiento.

b) Para formulaciones probabilistas

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación de los modos de fallo es admisible considerar simplifícadamente que las cargas más desfavorables para el modo de fallo analizado transmitidas por equipos auxiliares de transporte y depósito de movilidad no restringida durante el ciclo de solicitud correspondiente a condiciones operativas (realización de operaciones de transporte horizontal y depósito) se comportan como deterministas cuando se definen directamente valores nominales límite de las mismas. En los otros casos, dada la poca relevancia que tiene el viento en las cargas transmitidas por estos equipos dentro de los límites de operatividad establecidos por el fabricante para los mismos en relación con este agente, la componente debida al viento que interviene en la relación funcional que relaciona en cada equipo las cargas transmitidas con el agente causante no es significativa en los estados de proyecto representativos de las condiciones de trabajo operativas, independientemente de que sea o no sea el viento el agente climático que define el ciclo de solicitud correspondiente a estas condiciones normales operativas, por lo que puede considerarse simplifícadamente como determinista en dichos. Igualmente esto último es aplicable a las componentes debidas al viento de las cargas transmitidas por los equipos cuando consideremos condiciones de trabajo excepcionales por presentación de una acción accidental, así como condiciones de trabajo extremas o excepcionales por presentación de una acción sísmica.

Al igual que lo indicado tanto para equipos de manipulación de movilidad restringida (apartado 4.6.4.2.1.1.1) como no restringida (apartado 4.6.4.2.1.1.2), para definir la función de distribución de las cargas transmitidas por los equipos como función derivada de la de los agentes causantes se considerará en todos los casos que las componentes debidas al peso propio del equipo que se introducen en la relación funcional que relaciona en cada equipo las cargas transmitidas con los agentes causantes se definen considerando su valor nominal y que las componentes debidas al peso y movimiento de la carga transportada se definen considerando que la función de distribución del peso de la carga transportada es una normal de media el 80% del valor nominal y coeficiente de variación 0,15.

En el caso de que se apliquen las cargas máximas incluidas en la tabla 4.6.4.17 correspondientes a equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito estándar, podrán considerarse como valores nominales de los límites operativos establecidos por criterios de explotación del equipo y, por tanto, simplifícadamente, carentes de incertidumbre estadística durante la fase de servicio, independientemente de que sea o no sea el viento el agente que determine la operatividad de la instalación para las operaciones de carga y descarga.

4.6.4.2.1.2. Cargas transmitidas por sistemas discontinuos de carga y descarga del buque por medios rodantes ($q_{v,22}$)

4.6.4.2.1.2.1. Cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes ($q_{v,221}$)

Las operaciones de carga, descarga, estiba y desestiba del buque mediante sistemas discontinuos por medios rodantes están limitadas a los usos comerciales de mercancía general y pasajeros (ferris). Estas

operaciones pueden realizarse de forma autopropulsada (camiones con semirremolques, con o sin carga, así como turismos y autobuses que tienen por sí mismos el carácter de mercancía) o por medio de la utilización de equipos auxiliares de transporte o remolque que no permanecen en el buque (carretillas elevadoras frontales y unidades tractoras). En este último caso, la introducción-extracción de la mercancía del buque por rodadura puede hacerse bien directamente mediante la utilización de carretillas elevadoras o bien, cuando está depositada sobre otros elementos rodantes que permanecen conjuntamente con la mercancía en el interior del buque como remolques y semirremolques de carretera, plataformas rodantes de bajo gálibo (roll trailers) o plataformas sin ruedas (cassettes), mediante la utilización de unidades tractoras.

Cuando la carga o descarga del buque por medios rodantes no se haga de forma autopropulsada, para las operaciones, previas a la carga o posteriores a la descarga del buque, de traslado de las mercancías entre el costado del buque o el área de operación y las zonas de estacionamiento y almacenamiento, así como, en su caso, para la carga y descarga de las mercancías directamente en la zona de operación a o desde los modos de transporte terrestre, puede ser necesario tomar en consideración la utilización complementaria de equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito sobre neumáticos, de movilidad no restringida, de los descritos en el apartado 4.6.4.2.1.1.3 (p.e. apiladores de alcance) en el caso de que estas operaciones no puedan realizarse con los mismos equipos de transporte o remolque con los que se realiza la carga y descarga del buque por medios rodantes ⁽³⁹⁾.

La posible utilización de cada uno de estos equipos y las características de los mismos serán definidos por el Promotor, tomando en consideración el tipo y características de las mercancías a manipular y de su forma de presentación, así como las condiciones de explotación establecidas para la instalación portuaria. La utilización de cada uno de estos equipos no es excluyente; es decir, puede preverse la utilización simultáneamente de varios tipos de equipos. En cualquier caso, en obras de atraque y amarre en las que se considere la carga y descarga del buque mediante sistemas discontinuos por medios rodantes se considerará siempre, del lado de la seguridad, la utilización de equipos no autopropulsados, tanto carretillas elevadoras como unidades tractoras y plataformas rodantes, así como de equipos auxiliares de transporte y depósito sobre neumáticos que permiten completar la operativa en el área de operación, con el objeto de prever posibles cambios en las condiciones de explotación a lo largo de la vida útil de la instalación.

Las cargas a tomar en consideración transmitidas por los equipos que permiten la carga y descarga del buque por medios rodantes son debidas a las acciones y presiones verticales y a las acciones horizontales que se producen en las distintas ruedas de las que dispone el equipo en condiciones de equipo cargado.

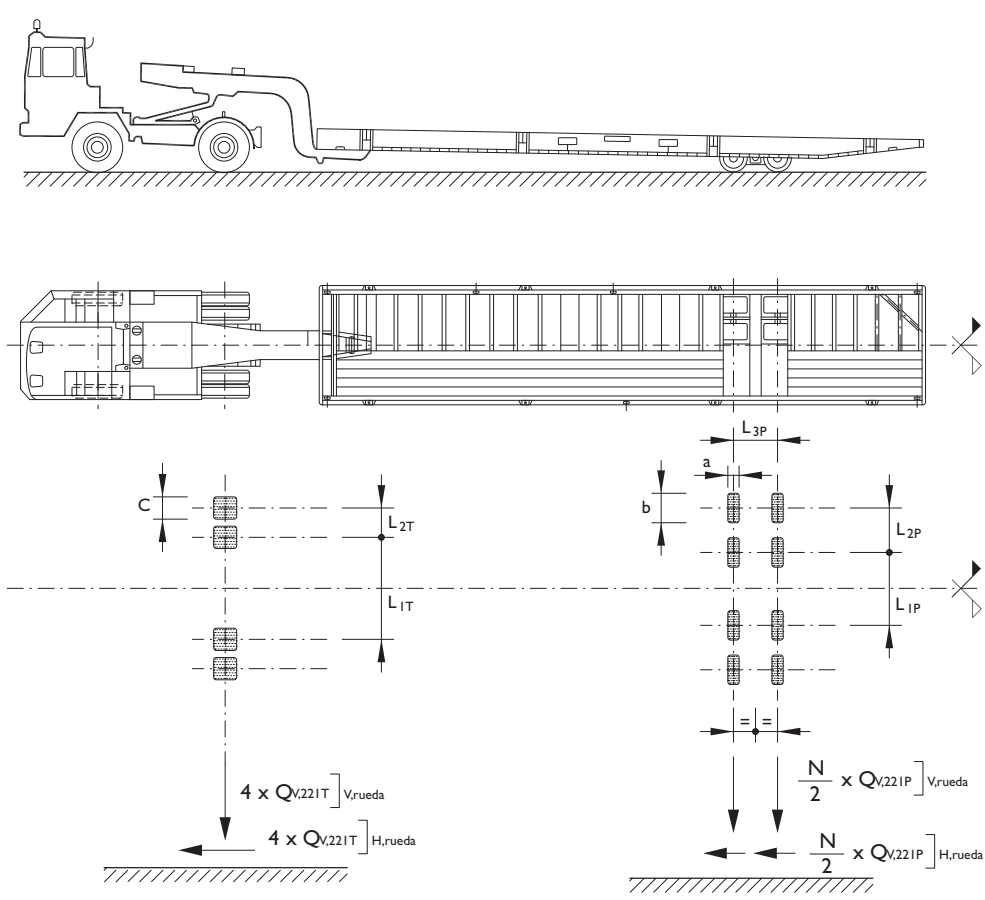
Dichas cargas están asociadas con los mismos factores que las transmitidas por los equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito (Ver apartado 4.6.4.2.1.1.3).

Los parámetros que definen a este agente se incluyen en la tabla 4.6.4.15 para las carretillas elevadoras frontales y en la tabla 4.6.4.18 para las unidades tractor/plataforma rodante. Los parámetros que definen a las unidades tractor/semirremolque de carretera se incluyen en la tabla 4.6.4.27 al considerarse las cargas transmitidas por este tipo de equipos cubiertas por los modelos de carga normalizados equivalentes al tráfico terrestre viario en áreas portuarias.

La distribución espacial de las cargas transmitidas por cada equipo se considerará libre, limitada, en su caso, únicamente por su compatibilidad con las condiciones de explotación establecidas para la instalación. Para cada estado de proyecto se adoptará la posición de las ruedas y distribución de cargas entre cada una de ellas correspondiente a la configuración del equipo y posición de la carga que produzca el efecto más desfavorable para el modo de fallo analizado.

(39) Las características de las plataformas rodantes de bajo gálibo: baja altura y ruedas de pequeño diámetro formadas por caucho sólido para facilitar el acceso al interior de los buques y soportar altas cargas, así como máximas velocidades operativas del orden de 10 km/h, no las hacen recomendables para distancias de transporte o remolque superiores a 500 m.

Tabla 4.6.4.18. Parámetros que definen las cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes

A. CARRETILLAS ELEVADORAS FRONTALES			
Ver tabla 4.6.4.15			
B. UNIDADES TRACTOR-PLATAFORMA RODANTE DE BAJO GÁLIBO			
			
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA DE CARGAS TRACTOR-PLATAFORMA RODANTE	Separación entre el eje más cargado del tractor y el punto medio entre los ejes de la plataforma		L_4
	Nº de ruedas plataforma rodante		N
	TRACTOR	Separación entre centros de ruedas internas	L_{1T}
		Separación entre centros de ruedas externa e interna	L_{2T}
		Forma y dimensiones de las áreas de contacto	Cuadrada de lado C
	PLATAFORMA RODANTE	Separación entre centros de ruedas internas	L_{1P}
		Separación entre centros de ruedas externa e interna	L_{2P}
		Separación entre centros de ruedas en tándem	L_{3P}
		Forma y dimensiones de las áreas de contacto	Rectangular $a \times b$
CARGA POR RUEDA	TRACTOR	Vertical	$Q_{v,221T} _{V,Rueda}$
		Horizontal	$Q_{v,221T} _{H,Rueda}$
	PLATAFORMA RODANTE	Vertical	$Q_{v,221P} _{V,Rueda}$
		Horizontal	$Q_{v,221P} _{H,Rueda}$

A los efectos de la verificación de modos de fallo globales y locales, en general será suficiente adoptar las cargas verticales correspondientes al eje simple más cargado correspondientes a un único equipo, en el caso de que se utilicen para la carga y descarga del buque carretillas elevadoras frontales, y al eje más cargado de un tractor conjuntamente con el eje tándem de las plataformas rodantes cuando se considere este tipo de sistema de carga y descarga. También se tomarán en consideración las cargas horizontales compatibles con dichas cargas verticales. No será necesaria la consideración de este agente para la verificación de modos de fallo globales en aquellos casos en los que la sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento considerada en el emplazamiento sea mayor o igual que la sobrecarga uniforme equivalente al equipo considerado. Así mismo, a los efectos de la verificación de modos de fallo locales, las cargas transmitidas por las unidades tractoras pueden considerarse cubiertas por las debidas al tráfico terrestre viario cuando éstas se consideren. Sin perjuicio de lo anterior, las obras de atraque y amarre en las que se prevean las operaciones de carga, descarga, estiba y desestiba por medios rodantes deberán verificarse también considerando la actuación de equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito en aquellas zonas del área de operación accesibles a los mismos según los criterios de explotación definidos por el Promotor, de acuerdo con lo establecido en el apartado 4.6.4.2.1.1.3. En este sentido, salvo que el Promotor lo exija específicamente, no se considerará la actuación de estos equipos auxiliares en los tacones y rampas necesarios para acceder a la bodega del buque desde la coronación de la obra de atraque.

Las cargas transmitidas por los equipos sobre neumáticos, de movilidad no restringida, con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes se considerarán únicamente en los estados de proyecto representativos de los ciclos de sollicitación asociados a la normal explotación de la instalación de atraque (condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga del buque), así como en los estados sísmicos y en los asociados a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario (condiciones de trabajo excepcionales), ya que en el resto de estados se considera que estos equipos se encuentran fuera de servicio. Las cargas transmitidas por estos equipos en estas condiciones se considerarán cargas compuestas, obteniéndose a partir de la combinación de acciones simultáneas y compatibles que actúan sobre los equipos en dichos estados; es decir, las debidas al peso propio del equipo y a la carga manipulada (incluyendo los efectos inerciales asociados con el movimiento del equipo y de la carga). El fabricante del equipo deberá suministrar las cargas verticales y horizontales transmitidas por cada agente, actuando aisladamente, sobre los ejes más cargados, considerando la máxima capacidad de carga manipulada.

Salvo en aquellos aspectos que en este apartado se señalen diferencias, la obtención y definición de las cargas transmitidas, sus valores nominales o sus valores representativos y, en su caso, sus funciones de distribución, se realizará de igual forma que lo establecido en esta Recomendación para los equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito (Ver apartado 4.6.4.2.1.1.3), considerando que las condiciones de trabajo operativas son las correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga del buque por rodadura.

Para la definición de los estados límite en condiciones de trabajo correspondientes a la realización de las operaciones de carga y descarga por rodadura se tomarán en consideración todas las causas de paralización de estas operaciones, con el objeto de obtener los valores límite de operatividad de las variables de los agentes climáticos y operativos que paralizan esta operación, para todos los buques de la flota esperable en el atraque.

- ◆ Cuando el viento se adopte como agente predominante para la definición del estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga por medios rodantes, bien por la paralización por condiciones de seguridad del equipo o bien por causar movimientos en el buque amarrado incompatibles con la realización de las citadas operaciones, se adoptará para la definición de dicho estado límite la velocidad del viento en cada dirección de entre los que limiten estas operaciones. La metodología para definición de las condiciones límite de operatividad correspondientes a la paralización de las operaciones de carga y descarga por medios rodantes por incompatibilidad de los movimientos del buque atracado con dichas operaciones ⁽⁴⁰⁾, se incluye en el apartado 4.6.4.4.7.1.3. Cargas de amarre, epígrafes a_4 y b_2 , consideran-

(40) En general, los máximos movimientos admisibles de los buques respecto a la posición de reposo para poder realizar las operaciones de carga y descarga por medios rodantes oscilan entre 0,3-0,6 metros para los movimientos horizontales y entre 1 y 1,2 metros para los verticales en función de la posición de la rampa en el buque (proa, popa, lateral o tres cuartos). Para más detalles, así como para los máximos giros admisibles del buque, ver la tabla 4.6.4.22.

do, a falta de criterios o estudios específicos, como movimientos admisibles del buque los señalados en la tabla 4.6.4.22. para este tipo de operaciones. A su vez, en ausencia de información específica del Promotor o del Fabricante de los equipos de manipulación, se adoptará como viento límite para la realización de estas operaciones por razones de seguridad de los equipos aquél cuya velocidad media en el intervalo (ráfaga) de 3 s a 10 m de altura sea 24 m/s (≈ 86 km/h).

- ◆ Para la definición de los estados límites en esta condición operativa también deberán tomarse en consideración aquéllos casos en los que otro agente climático distinto del viento (p.e. oleaje, niveles de las aguas exteriores, efectos hidrodinámicos producidos por buques en tránsito,...) u operativo se adopte como agente predominante para alguna de las causas de paralización de la carga y descarga del buque por rodadura (incompatibilidad de los movimientos del buque con las operaciones de carga y descarga, incompatibilidad entre los niveles del borde lado mar de tacones y rampas y los niveles de los portones de los buques, así como entre las pendientes y acuerdos entre planos inclinados de los mismos con los vehículos o los equipos de manipulación con medios rodantes, y rebases de las aguas exteriores. En estos casos se adoptará en el estado límite la velocidad del viento simultáneo compatible con el valor límite de operatividad del agente adoptado como predominante en el estado meteorológico definido por el mismo (ver apartado 4.6.2.1). Estos estados deberán analizarse por si pudieran ser más desfavorables para el modo de fallo analizado considerando todas las cargas actuantes en estas condiciones de trabajo, aunque sean más limitativos en lo que respecta a la velocidad del viento.

A falta de otros estudios más precisos de compatibilidad de los movimientos de cada buque causados por los agentes climáticos con la carga y descarga del mismo por medios rodantes, puede adoptarse con carácter general cuando se consideren condiciones de amarre tipo como valor del agente climático predominante que define el estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga del buque por medios rodantes el recogido en la tabla 3.2.1.3. ($V_{v,1min} = 22$ m/s; $V_{c,10 min} = 1,5$ m/s en dirección longitudinal al buque o 0.5 m/s en sentido transversal; o $H_s = 0,5$ m en dirección longitudinal al buque o 0,3 m en dirección transversal con longitudes de onda mayores que la eslora del buque, respectivamente).

Dada la poca relevancia que tienen los efectos del viento debido al tamaño, características y condiciones de operaciones de estos equipos, las cargas transmitidas por los mismos pueden considerarse independientes de la velocidad del viento considerada en esta condición.

Los valores representativos de las cargas transmitidas por los equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes en cada una de las condiciones de trabajo en que son de aplicación, cuando estén definidos en la fase de proyecto, se obtendrán de forma equivalente a los dispuesto en la tabla 4.6.4.16 para los valores representativos de las cargas transmitidas por equipos auxiliares sobre neumáticos de transporte horizontal y depósito de movilidad no restringida. Así mismo, para formulaciones probabilistas será de aplicación a las cargas transmitidas por los equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes lo dispuesto estos efectos para las cargas transmitidas por equipos auxiliares.

En ausencia de información más precisa obtenida a partir de los datos suministrados por el Fabricante para los equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes previstos por el Promotor en función del uso de la obra de atraque y amarre y de las condiciones de explotación establecidas, podrán adoptarse como órdenes de magnitud de los valores representativos de las cargas transmitidas por los equipos considerados actualmente como estándar los consignados en la tabla 4.6.4.19, los cuales incluyen la amplificación dinámica y los efectos inerciales debidos a la traslación, frenada, etc...

◆ Cargas mínimas

En previsión de posibles variaciones razonables en las condiciones de utilización y criterios de explotación de la obra de atraque y amarre durante su vida útil o de incertidumbres que puedan producirse entre la fase de proyecto y de servicio de la obra, es recomendable que se adopten como mínimo las siguientes cargas transmitidas por equipos sobre neumáticos, de movilidad no restringida, con capacidad

Tabla 4.6.4.19. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida estándar con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes ⁶⁾

A. CARRETILLAS ELEVADORAS FRONTALES									
En general, el tipo de carretillas elevadoras frontales que se utilizan para la carga y descarga de buque por medios rodantes son aquéllas con una capacidad de elevación de carga del orden de 300 kN. La configuración y los valores característicos de las cargas transmitidas por estos equipos se incluyen en la tabla 4.6.4.17.									
B. UNIDADES TRACTOR-PLATAFORMA RODANTE									
TIPO DE TRACTOR-PLATAFORMA RODANTE									
PLATAFORMA RODANTE	Capacidad de carga plataforma (kN) ¹⁾			450	600	800	1000	1200	
	Carga 5ª rueda de plataforma con máxima carga (kN)			140	185	215	265	320	
TRACTOR	Capacidad 5ª rueda (kN) ²⁾			300-500	300-350	300-350	300-350	300-350	
CARACTERÍSTICAS EQUIPO	Peso plataforma (kN)			50	55	60	70	90	
	Peso tractor (kN)			90-150	90-150	90-150	90-150	90-150	
	Longitud plataforma (m)			12,30	12,30	12,30	12,30	12,30	
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA DE CARGAS TRACTOR/ PLATAFORMA	Separación (<i>L</i> ₄) entre el eje más cargado del tractor y el punto medio entre los ejes de la plataforma (m)			10,50	10,50	10,50	10,50	10,50	
	Nº de ruedas plataforma rodante (N)			8	8	8	8	8	
	TRACTOR	Separación (<i>L</i> _{1T}) entre centros de ruedas internas (m)		1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	
		Separación (<i>L</i> _{2T}) entre centros de ruedas externas e internas (m)		0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	
		Forma y dimensiones (cxc) del área de contacto (m x m)		3)	3)	3)	3)	3)	
	PLATAFORMA	Separación (<i>L</i> _{1P}) entre centros de ruedas internas (m)		0,80	0,70	0,50	0,45	0,45	
		Separación (<i>L</i> _{2P}) entre centros de ruedas externas e internas (m)		0,48	0,52	0,60	0,75	0,75	
		Separación (<i>L</i> _{3P}) entre centros de ruedas en tándem (m)		0,65	0,75	0,75	0,80	0,90	
		Forma y dimensiones (cxc) del área de contacto (m x m)		ax0,40 ⁴⁾	ax0,40 ⁴⁾	ax0,40 ⁴⁾	ax0,40 ⁴⁾	ax0,40 ⁴⁾	
	MÁXIMA CARGA POR RUEDA (KN) ⁵⁾	TRACTOR	Sin operación	Vertical	15-25	15-25	15-25	15-25	15-25
			En condiciones de operación	Vertical	50	60	70	80	90
Horizontal				0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	
PLATAFORMA		Sin operación	Vertical	4,50	5,00	6,00	7,00	9,00	
		En condiciones de operación	Vertical	45	60	85	105	125	
			Horizontal	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert	
CARGA VERTICAL UNIFORME EQUIVALENTE (kN/m ²)				15	20	25	30	35	

Notas

- Cuando, de acuerdo con lo previsto en esta Recomendación, se adopten los valores consignados en esta tabla para la definición de cargas mínimas, en aquellos parámetros que se incluya un rango de valores se utilizará a estos efectos el valor medio.
- 1) Si bien están disponibles plataformas rodantes con menor (250 a 400 kN) o mayor (hasta 2000 kN) capacidad de carga, se incluyen en esta tabla únicamente las que se consideran más comunes en las terminales portuarias por su mayor adaptación a diferentes condiciones de explotación y de presentación de las mercancías, con longitudes capaces de transportar tanto carga fraccionada como simultáneamente 2 contenedores de 20' o un contenedor de hasta 45' (longitudes del orden de 12 m).
- 2) Aunque pueden utilizarse unidades tractoras con menor capacidad en 5ª rueda para los tipos de plataformas rodantes incluidos en esta tabla hasta 800 kN de capacidad de carga, en general se considera recomendable para estas plataformas utilizar unidades tractoras con capacidad en la 5ª rueda mayor de 300 kN y con capacidad de remolque hasta 1200 kN.
- 3) Para obtener las dimensiones del área de contacto correspondiente a la rueda de la unidad tractora puede considerarse presiones de contacto del orden de 800 kN/m².
- 4) La dimensión (a) del área de contacto correspondientes a las ruedas de la plataforma puede obtenerse considerando presiones de contacto del orden de 2500 kN/m².
- 5) Las máximas cargas por rueda consignadas en esta tabla incluyen amplificación dinámica y los efectos inerciales debidos a la traslación (aceleración, frenada, ...). No se incluyen los efectos debidos a posibles giros de los equipos. En las zonas en la que se concentren giros de estos equipos puede considerarse que las cargas transmitidas son un 30% superiores a las consignadas en

Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por equipos de movilidad no restringida estándar con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes ⁶⁾ (continuación)

en la tabla. Tienen únicamente un valor indicativo de su orden de magnitud para cada tipo de equipo, habiéndose obtenido del análisis de los correspondientes a diferentes fabricantes. Dependiendo del fabricante y de la configuración geométrica, las variaciones pueden ser significativas por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si esto no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores nominales máximos que no deben superarse por este tipo de equipos, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación. Las acciones horizontales se considerarán en la dirección de circulación de los equipos. En estos equipos puede considerarse que no es relevante la componente de la acción horizontal debida al viento. Por dicha razón, simplificada se podrá considerar que las cargas incluidas en esta tabla son válidas para cualquier velocidad del viento menor o igual que la fijada como límite de operación.

- 6) Puede considerarse como suficientemente aproximado adoptar como valor cuasi-permanente de las cargas transmitidas por los equipos con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes incluidos en esta tabla 0,90 el valor de las componentes verticales en condiciones de operación en los casos de carretillas frontales (A). Para unidades tractor-plataforma rodante (B) se adoptará un coeficiente reductor de 0,9 para las cargas transmitidas por unidades tractoras y 0,80 para las transmitidas por las plataformas rodantes. En todos los casos se considerará que las componentes horizontales de actuación simultánea son nulas.

de carga y descarga del buque por medios rodantes, aunque la utilización de dichos equipos no este inicialmente prevista o inicialmente detallada por el Promotor:

- Para usos comerciales de mercancía general y pasajeros en los casos ro-ro, ferris y multipropósito
 - Las cargas correspondientes a las carretillas elevadoras frontales con capacidad de elevación de carga de 300 kN incluidas en la tabla 4.6.4.17.
 - Las cargas correspondientes a las unidades tractor-plataforma rodante de bajo gálibo con capacidad de carga de 800 kN incluidas en la tabla 4.6.4.19.

En obras de atraque y amarre para *el resto de usos* no se considerarán cargas mínimas debidas a equipos sobre neumáticos, de movilidad no restringida, con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes, sin perjuicio de considerar en esos usos las cargas mínimas debidas a equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito que sean de aplicación de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.6.4.2.1.1.3.

El resumen de las cargas mínimas transmitidas por equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por medios rodantes a adoptar en las áreas de operación de obras de atraque y amarre en las que esté prevista la carga y descarga del buque mediante sistemas discontinuos por medios rodantes se incluye en la tabla 4.6.4.23.

En lo que respecta a la verificación de modos de parada operativa, el agente de uso y explotación cuyos límites de operatividad definen el modo de parada operativa correspondiente a la paralización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado es el agente “manipulación de mercancías mediante sistemas discontinuos por medios rodantes ($q_{v,22}$)” cuando la operativa de carga y descarga del buque se realiza mediante este sistema de manipulación.

A los efectos de verificar este modo de parada operativa se definirán los valores umbral de las variables de los agentes climáticos que limitan las operaciones de carga y descarga del buque por rodadura, para cada una de las siguientes causas de paralización de estas operaciones que sean relevantes para el emplazamiento, de acuerdo con lo dispuesto en este apartado para las condiciones de trabajo operativas:

- Paralización por razones intrínsecas de seguridad de los equipos.
- Paralización por incompatibilidad con los movimientos del buque atracado con las operaciones de carga y descarga con medios rodantes.
- Paralización por incompatibilidad de niveles entre la bodega del buque y la coronación de la obra de atraque o, en su caso, de los tacones o rampas disponibles.

- Paralización por rebases de las aguas exteriores o, en su caso, del trasdós sobre el nivel de coronación de la obra de atraque.
- Paralización por rebases del oleaje sobre la coronación de las obras de abrigo, en el caso de obras de atraque adosadas o próximas a éstas.

El nivel de operatividad conjunto correspondiente a las paralización de las operaciones de carga y descarga del buque por medios rodantes podrá obtenerse de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en el apartado 4.1.1.3. Verificación de modos de parada operativa, de esta Recomendación.

En general, en las instalaciones de atraque es recomendable que el nivel de coronación de las mismas se fije de forma que nominalmente no se produzca la paralización de la instalación por rebases de las aguas (Ver apartado 3.2.2.1. Niveles de coronación del atraque. Asimismo, es recomendable que no se produzca la paralización de las operaciones de carga y descarga del buque por medios rodantes por incompatibilidad de niveles entre la bodega del buque y la coronación de la obra de atraque o, en su caso, de los tacones o rampas disponibles (ver apartados 3.2.1.6. Posición y dimensiones en planta de tacones y rampas y 3.2.2.3. Perfil longitudinal de tacones y rampas). De igual forma, en el caso de obras de atraque adosadas o próximas a diques es recomendable que los niveles de coronación de las obras de abrigo se proyecten de modo que la probabilidad de paralización de las operaciones de carga y descarga asociada con los rebases de oleaje a través de la coronación del dique sea también nominalmente nula.

4.6.4.2.1.3. Cargas transmitidas por sistemas continuos de carga y descarga del buque ($q_{v,23}$)

Las operaciones de carga, descarga, estiba y desestiba del buque mediante sistemas continuos están limitadas a los usos comerciales de graneles líquidos y sólidos, siendo los equipos que permiten la realización de estas operaciones diferentes para cada uno de estos usos.

4.6.4.2.1.3.1. Cargas transmitidas por sistemas continuos de carga y descarga de graneles líquidos ($q_{v,231}$)

El procedimiento de carga-descarga de los graneles líquidos mediante sistemas continuos y su transporte desde o hasta las zonas de almacenamiento se realiza por bombeo a través de tuberías y de sistemas de conexión de éstas con el buque que permiten la realización de estas operaciones en condiciones de seguridad y sostenibilidad ambiental, al adaptarse a los movimientos verticales, movimientos horizontales y giros generados en el buque atracado por los agentes del medio físico (niveles de agua, corrientes, viento, oleaje, ...) o los agentes operativos hasta los límites de operación considerados.

Esta conexión puede realizarse por medio de:

- ◆ Brazos articulados.
- ◆ Mangueras o tuberías flexibles, incluyendo, en su caso, instalaciones que faciliten su manejo y almacenamiento.

La posible utilización de cada uno de estos sistemas de conexión y las características de los mismos serán definidas por el Promotor, tomando en consideración el tipo de granel líquido a manipular, en particular su peligrosidad y los rendimientos exigidos, así como su compatibilidad con la configuración física de la obra de atraque (monoboya, campos de boyas o pantalanés) y con las condiciones climáticas en el emplazamiento. Con carácter general la tecnología actualmente existente permite utilizar ambos sistemas para todo tipo de graneles líquidos, independientemente de la configuración física del atraque adoptada y de la severidad climática en el emplazamiento. No obstante lo anterior, puede considerarse que los brazos articulados situados sobre pantalanés o plataformas en zonas abrigadas o sometidas a climas marítimos no demasiado severos son el mecanismo más seguro y eficaz de conexión para todo tipo de productos, particularmente los que exigen una manipulación a temperatura no ambiental, bien más elevada (productos asfálticos) o bien criogénica (gases licuados), y cuando se realiza la carga-descarga del buque de costado. En zonas no abrigadas con climatología severa o cuando la

configuración física del atraque adoptada sea un duque de alba de amarre aislado, una monoboia o un campo de boyas, como criterio general suelen utilizarse mangueras o tuberías flexibles.

Los equipos de conexión suelen ser, en general, fijos, aunque también pueden ser de movilidad restringida o sobre un chasis móvil, con el objeto de dotarles de mayor flexibilidad de posición en la línea de atraque en función de la flota previsible de buques.

Este agente se define mediante las acciones (verticales, horizontales y momentos) y presiones asociadas transmitidas directamente a la obra de atraque en el caso del equipo fijo o, en el caso de equipos de movilidad restringida y de equipos sobre chasis, transmitidas a través de las ruedas que permiten la movilidad del equipo en una banda de circulación o de forma no restringida respectivamente, así como, en el caso de equipos de movilidad restringida, a través de los anclajes en aquéllos estados de proyecto en los cuales se considere su inmovilización.

Dichas cargas están asociadas fundamentalmente con los siguientes factores:

- ◆ Configuración geométrica del equipo, particularmente en la interfase equipo/obra de atraque (forma y dimensiones del área de contacto, ...).
- ◆ Peso propio del equipo.
- ◆ Efectos inerciales asociados con los movimientos del equipo y el paso del fluido durante las operaciones de carga y descarga.
- ◆ Los efectos de los agentes del medio físico, particularmente el viento.

En el caso de equipos de movilidad restringida también deberá tomarse en consideración la configuración geométrica de la interfase equipo-obra de atraque (separación entre ejes, número y separación entre ruedas,...).

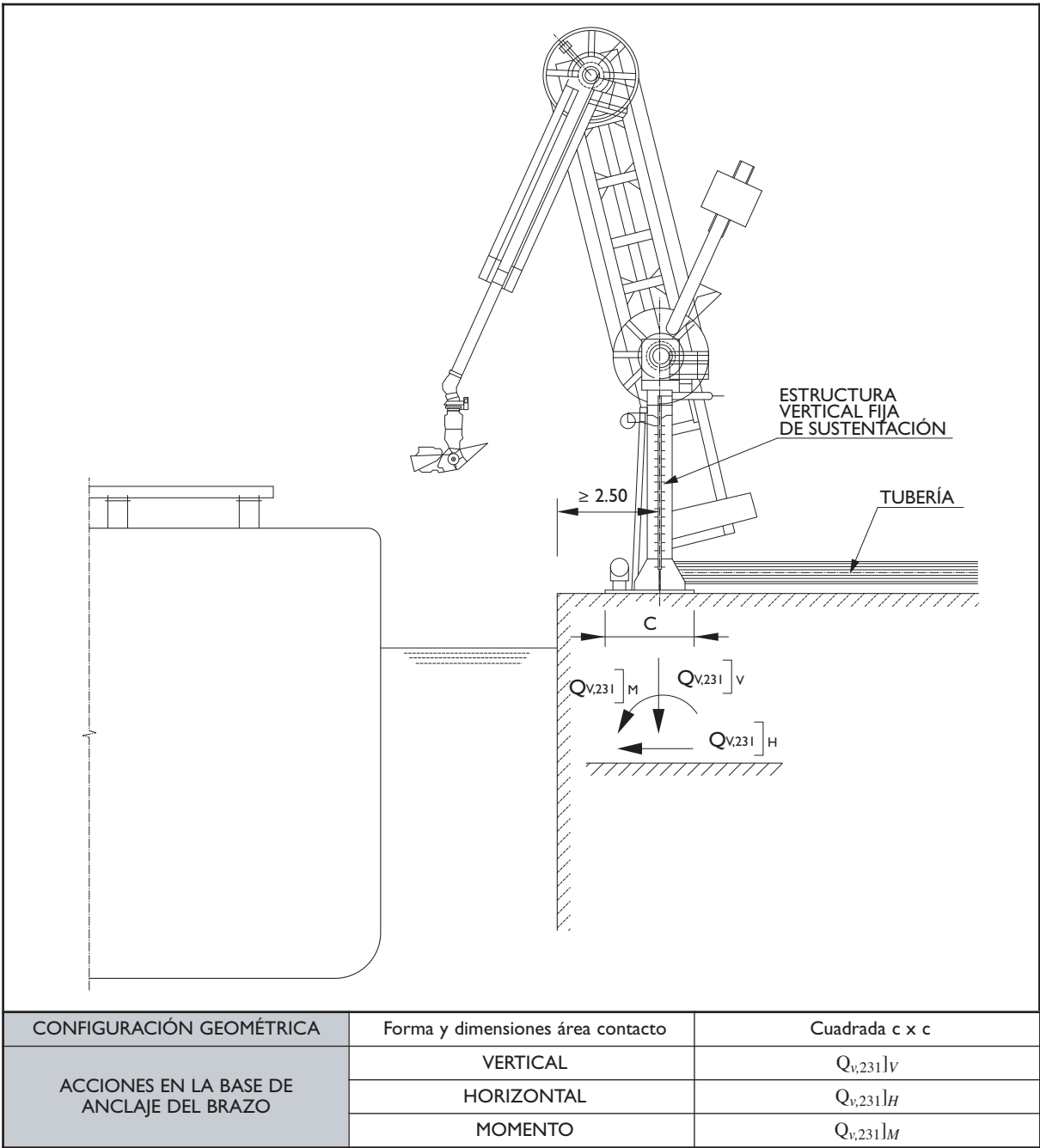
Los parámetros que definen a este agente se incluyen en la tabla 4.6.4.20 para equipos fijos. Para los equipos de movilidad restringida, los parámetros que definen este agente pueden considerarse equivalentes a los definidos en la tabla 4.6.4.5 para los equipos de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación. Para los equipos situados sobre chasis móvil, los parámetros que definen este agente pueden considerarse equivalentes en general a los modelos de carga normalizados 1 y 2 correspondientes al tráfico viario en áreas portuarias incluidos en la tabla 4.6.4.28.

La distribución espacial de estas cargas se considerará libre con las restricciones asociadas a la configuración geométrica de los equipos, limitada únicamente por su compatibilidad con las condiciones de explotación establecidas para los mismos y para la instalación portuaria. Por condiciones de explotación de la instalación, así como por exigencias de seguridad es recomendable que la distancia entre el cantil de la obra de atraque y el eje de la estructura vertical fija más próxima al lado mar sea mayor de 2,50 m ⁽⁴¹⁾, debiéndose garantizar una distancia mínima entre el cantil y cualquier parte del equipo en configuración replegada mayor de 1,50 m. para evitar su posible colisión con el buque durante las maniobras de atraque o durante la permanencia del mismo en el atraque (Ver apartado 4.6.4.2.1.1.1). Para cada estado de proyecto se adoptarán las cargas correspondientes a la posición del equipo y dirección del viento que, siendo compatibles con dicho estado, produzca los efectos más desfavorables para el modo de fallo analizado.

A los efectos de la verificación de modos de fallo tanto globales como locales se considerarán las cargas transmitidas por todos los equipos de conexión definidos por el Promotor en cada uno de los estados de proyecto, considerando, salvo que las condiciones de explotación definan lo contrario, que los ubicados en un mismo atraque pueden estar en servicio simultáneamente.

(41) Esta recomendación tiene un carácter general sin perjuicio de que en algunos casos puede generar dificultades en la cimentación del equipo que no haga conveniente dicha disposición. Por ejemplo en obras de atraque de pantallas, con el objeto de poder apoyar el equipo sobre la pantalla, pueden admitirse excepcionalmente distancias menores entre el cantil y el equipo, pero nunca menores de 0,80 m. Por otra parte, salvo que las condiciones de explotación establecidas para la instalación de atraque lo exijan específicamente, no es conveniente aumentar demasiado esta distancia ya que reduce el alcance efectivo del equipo de manipulación.

Tabla 4.6.4.20. Parámetros que definen las cargas transmitidas por brazos articulados fijos en sistemas continuos de manipulación de graneles líquidos



Las cargas transmitidas por los equipos de conexión se considerarán cargas compuestas, obteniéndose a partir de la combinación de las acciones simultáneas y compatibles que en cada estado de proyecto representativo de los ciclos de sollicitación asociados a la normal explotación de la instalación de atraque (condiciones de trabajo operativas), a la inoperatividad de la misma en el caso de equipos fijos o de movilidad restringida (condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la actuación de viento extraordinario) o la presentación de un agente extraordinario o insólito (condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una accidental y condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica) actúan sobre el equipo, tomando en consideración las diferentes posiciones y configuraciones que puede adoptar éste en dicho estado, así como la dirección del viento. Para ello el fabricante del equipo

deberá suministrar las cargas verticales, horizontales y los momentos transmitidos separadamente por el peso propio del equipo, los debidos a efectos inerciales durante el proceso de carga y descarga, incluido el peso del fluido, y el viento, tomando en consideración las diferentes posiciones del equipo y la dirección del viento, de forma que sea posible definir los diferentes valores representativos y, en su caso, las funciones de distribución asociados a dichas cargas. Para los equipos sobre chasis será de aplicación lo dispuesto a estos efectos para el tráfico viario.

Para los equipos fijos y de movilidad restringida, la obtención y definición de las cargas transmitidas, de sus valores representativos y, en su caso, sus funciones de distribución se realizará de forma equivalente a lo establecido para los equipos fijos y de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación (Ver apartado 4.6.4.2.1.1.1), considerando, igualmente, los estados límite correspondientes a las condiciones de trabajo operativas definidos por los diferentes valores límite de los agentes climáticos y operativos que dan lugar a la paralización de las operaciones, considerando todas las causas de paralización y todos los buques de la flota esperable en el atraque.

A falta de estudios más precisos entre movimientos del buque atracado y agente actuante de acuerdo con los procedimientos y con los valores admisibles establecidos en esta Recomendación para este tipo de equipos (ver tabla 4.6.4.22), si como de especificaciones del fabricante, pueden adoptarse con carácter general como valores límite de operatividad de los distintos agentes climáticos, cuando cada uno de ellos es el predominante y, por tanto, define un estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga de graneles líquidos mediante sistemas continuos, los consignados en la tabla 3.2.1.3, obtenidos considerando que los movimientos que producen en los buques atracados con condiciones de amarre tipo son los máximos admisibles usuales para equipos convencionales ⁽⁴²⁾.

En ausencia de información más precisa obtenida a partir de los datos suministrados por el fabricante para los equipos de conexión previstos por el Promotor para la carga-descarga de graneles líquidos por sistemas continuos en función de las condiciones de explotación establecidas, en particular los rendimientos de carga y descarga considerados, podrán adoptarse como órdenes de magnitud de los valores representativos de las cargas transmitidas por los equipos de conexión fijos considerados actualmente como estándar o más usuales los consignados en la tabla 4.6.4.21, los cuales incluyen los efectos inerciales asociados a los movimientos del equipo durante las operaciones de carga y descarga.

◆ Cargas mínimas

En previsión de posibles variaciones razonables en las condiciones de utilización y criterios de explotación de la obra de atraque y amarre durante su vida útil o de incertidumbres que puedan producirse entre la fase de proyecto y de servicio de la obra, para formulaciones deterministas y determinista-probabilista de las ecuaciones de verificación es recomendable que se adopten en obras de atraque y amarre para usos comerciales de graneles líquidos como mínimo los siguientes valores representativos de las cargas transmitidas por sistemas continuos de carga y descarga del buque, independientemente de que esté o no inicialmente previsto o detallado por el Promotor el tipo y número de equipo de conexión:

- Para buques máximos de proyecto de menos de 20.000 TPM
 - Máximas cargas en base soporte incluidas en la tabla 4.6.4.21 correspondientes a un brazo articulado para una tubería de 203 mm de diámetro (8").

(42) Para brazos articulados convencionales en general son admisibles semiamplitudes de los movimientos horizontales del buque de vaivén menores de 2 m y amplitudes de los movimientos de deriva menores de 2 m, dependiendo de los periodos de oscilación del buque atracado. No obstante, particularmente para productos petrolíferos y químicos, actualmente existen en el mercado tecnologías de equipos de conexión que admiten un mayor rango de movimientos horizontales del buque en las operaciones de carga y descarga, con amplitudes del orden de 6 m o más para los movimientos de vaivén y de 3 m para los movimientos de deriva, lo que permite operar incluso con alturas de olas significante entre 3 y 5 m (Para más detalles ver tabla 4.6.4.22).

Tabla 4.6.4.21. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por brazos articulados fijos tipo sistemas continuos de manipulación de graneles líquidos 1) 4)

TIPO DE BRAZO ARTICULADO						
Diámetro de tubería (mm) [“]		203 [8”]	254 [10”]	305 [12”]	406 [16”]	508 [20”]
Máximo rendimiento bruto (m³/h)		1100	1700	2500	4000	5500
CARACTERÍSTICAS DEL BRAZO ARTICULADO	Alcance tipo de conexión desde el eje del brazo (m)	10,0	10,0	12,0	13,0	15,0
	Altura tipo de conexión sobre base (m)	7,0	8,0	8,0	8,0	8,0
	Altura tipo de conexión por debajo de base (m)	7,0	8,0	8,0	8,0	8,0
	Peso (kN)	190	240	320	360	400
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA	Máxima altura en posición replegada (m)	20	22	25	28	30
	Dimensiones (c x c) base soporte (m x m)	1,50 x 1,50	1,50 x 1,50	1,50 x 1,50	1,50 x 1,50	1,50 x 1,50
MÁXIMA CARGA EN BASE SOPORTE (kN o kNm)	En condiciones de Operación 2)	Vertical	250	300	400	450
		Horizontal	35	40	43	50
		Momento	600	800	1000	1350
	En condiciones Extremas o Excepcionales debidas a viento extraordinario	Vertical	190	240	320	360
		Horizontal	100	110	125	140
		Momento	1000	1200	1500	2200

Notas

- Los valores consignados en esta tabla tienen únicamente un valor indicativo de su orden de magnitud para cada tipo de brazo articulado hasta 20” de diámetro de tubería, habiéndose obtenido de los análisis de los correspondientes a varios fabricantes. Estos brazos son los más comunes, aunque para grandes buques pueden utilizarse brazos con mayores diámetros de tubería (24”). Dependiendo del fabricante, así como del alcance y alturas de conexión necesarios en función del tipo de buque y de los resguardos de seguridad exigidos, las variaciones pueden ser significativas por lo que deben contrastarse por las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si esto no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores nominales máximos que no deben superarse por los equipos, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación.
- Considerando una velocidad de viento en el emplazamiento $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 24\text{ m/s}$ ($\approx 86\text{ km/h}$) actuando en la dirección de la posición del brazo y en el sentido más desfavorable, e incluyendo los efectos inerciales asociados con los movimientos del brazo y el paso del fluido. Para otra velocidad del viento, se considerará que la componente vertical de las cargas incluida en la tabla no varía y que las componentes horizontal y la parte del momento debidas al viento se modifican aplicando la relación $(V_1/V_0)^2$. Simplificadamente, puede considerarse que la componente del momento no debida al viento es igual a la componente vertical incluida en la tabla por una excentricidad de 1,1 m.
- Considerando una velocidad de viento en el emplazamiento $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 40\text{ m/s}$ ($\approx 144\text{ km/h}$) en la dirección perpendicular o paralela al cantil de la obra de atraque. Para la determinación de la carga máxima horizontal y el momento para otra velocidad del viento (V_1) puede aplicarse la relación $(V_1/V_0)^2$ a los datos de la tabla.
- Los otros valores representativos (de combinación, frecuente y cuasi-permanente) en condiciones de equipo fuera de servicio pueden obtenerse a partir de los valores consignados en esta tabla para condiciones extremas, considerando que la componente vertical no varía y que la componente horizontal y el momento se modifican en función de la velocidad del viento que le corresponda a cada valor representativo de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.8, calculados a través del procedimiento establecido en la cláusula 3). Los valores frecuente y cuasi-permanente en condiciones del equipo en servicio, pueden obtenerse a partir de los valores consignados en esta tabla para condiciones de operación, considerando que la componente vertical no varía y que la componente horizontal y la parte del momento debidas al viento se modifican en función de la velocidad del viento que le corresponda a cada valor representativo de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.8, calculados a través del procedimiento establecido en la cláusula 2).

- Cargas lineales equivalentes a la actuación simultánea de varios brazos articulados para tuberías de 203 mm de diámetro (8”), situados con una separación entre ejes de las estructuras verticales fijas de sustentación de 3 m.

■ Para buques máximos de proyecto entre 20.000 a 30.000 TPM

- Máximas cargas en base soporte incluidas en la tabla 4.6.4.21 correspondientes a un brazo articulado para una tubería de 254 mm de diámetro (10”).

- Cargas lineales equivalentes a la actuación simultánea de varios brazos articulados para tuberías de 254 mm de diámetro (10"), situados con una separación entre ejes de las estructuras verticales fijas de sustentación de 3 m.
- Para buques máximos de proyecto entre 30.000 a 40.000 TPM
 - Máximas cargas en base soporte incluidas en la tabla 4.6.4.2I correspondientes a un brazo articulado para una tubería de 305 mm de diámetro (12").
 - Cargas lineales equivalentes a la actuación simultánea de varios brazos articulados para tuberías de 305 mm de diámetro (12") situados con una separación entre ejes de las estructuras verticales fijas de sustentación de 4 m.
- Para buques máximos de proyecto entre 40.000 a 50.000 TPM
 - Máximas cargas en base soporte incluidas en la tabla 4.6.4.2I correspondientes a un brazo articulado para una tubería de 406 mm de diámetro (16").
 - Cargas lineales equivalentes a la actuación simultánea de varios brazos articulados para tuberías de 406 mm de diámetro (16"), situados con una separación entre ejes de las estructuras verticales fijas de sustentación de 4 m.
- Para buques máximos de proyecto de más de 50.000 TPM
 - Máximas cargas en base soporte incluidas en la tabla 4.6.4.2I correspondientes a un brazo articulado para una tubería de 508 mm de diámetro (20").
 - Cargas lineales equivalentes a la actuación simultánea de varios brazos articulados para tuberías de 508 mm de diámetro (20"), situados con una separación entre ejes de las estructuras verticales fijas de sustentación de 5 m.

Las cargas lineales se obtendrán por división de las cargas transmitidas por los equipos considerados, incluidas en la tabla 4.6.4.2I, por la separación entre ejes de las estructuras verticales fijas de sustentación.

Para formulaciones probabilistas, la obtención de las funciones de distribución de las cargas transmitidas en los diferentes ciclos de solicitación por los brazos articulados tipo considerados en la tabla 4.6.4.2I que se exige que se adopten como mínimos para las obras de atraque y amarre de uso comercial de graneles líquidos en función del buque máximo de proyecto, se realizará a través de la adaptación a estos equipos del procedimiento establecido a estos efectos en el apartado 4.6.4.2.1.1.1. Cargas transmitidas por equipos fijos y de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación. En el caso de que se apliquen las cargas máximas incluidas en la tabla 4.6.4.2I correspondientes al ciclo de solicitación en condiciones de trabajo operativas, podrán considerarse como valores nominales de los límites operativos establecidos por criterios de explotación del equipo y, por tanto simplificada y carente de incertidumbre estadística durante la fase de servicio, siempre que sea el viento el agente que determine la operatividad de la instalación.

El resumen de las cargas mínimas transmitidas por brazos articulados fijos a adoptar en las áreas de operación de obras de atraque y amarre de uso comercial de graneles líquidos se incluye en la tabla 4.6.4.23.

Para la verificación de modos de fallo globales, con carácter general puede considerarse que las cargas debidas a los poliductos de tuberías desplegados en las áreas de operación (en general, como máximo dos niveles de tuberías) están cubiertas por las sobrecargas mínimas de estacionamiento y almacenamiento establecidas en esta Recomendación para dichas áreas para usos comerciales de graneles líquidos con sistemas de manipulación continuos cuando son accesibles al tráfico viario (10 kN/m^2 de acuerdo con tabla 4.6.4.4 más los efectos del viento compatibles). En los casos en que el Promotor de la instalación prevea más niveles de tuberías, puede considerarse una sobrecarga uniforme vertical equivalente a cada nivel de tuberías igual a 5 kN/m^2 y una horizontal longitudinal de 5 kN/m^2 debida a la fuerza de rozamiento horizontal producida por los efectos de dilatación/contracción de las tuberías. Adicionalmente se considerará una sobrecarga unifor-

me horizontal, con la misma distribución espacial que la carga vertical, debida a la acción del viento, resultante de adoptar como valor representativo de la velocidad del viento en magnitud y dirección el correspondiente al ciclo de solicitación considerado y como superficie expuesta la resultante de considerar un metro de altura por cada nivel de tuberías. En zonas de operación no accesibles al tráfico rodado se considerará como mínimo las sobrecargas correspondientes a un nivel de tuberías.

En lo que respecta a la verificación de modos de parada operativa, el agente de uso y explotación cuyos límites de operatividad definen el modo de parada operativa correspondiente a la paralización de carga y descarga con buque atracado es el agente “manipulación de graneles líquidos mediante sistemas continuos ($q_{v,231}$)” cuando la operativa de carga y descarga del granel líquido se realiza mediante este sistema de manipulación.

A los efectos de verificar este modo de parada operativa se considerarán como valores umbral de las variables de los agentes climáticos que limitan las operaciones de carga y descarga, para cada una de las causas posibles de paralización de estas operaciones en el emplazamiento, los definidos de acuerdo con lo dispuesto en este apartado para las condiciones de trabajo operativas. Para la verificación del nivel de operatividad de la instalación asociado a este modo de parada operativa será de aplicación lo dispuesto a estos efectos en el apartado 4.1.1.3. Verificación de modos de parada operativa, así como en el epígrafe a_3 del apartado 4.6.4.2.1.1.1. Cargas transmitidas por equipos fijos y de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación.

4.6.4.2.1.3.2. Cargas transmitidas por sistemas continuos de carga y descarga de graneles sólidos ($q_{v,232}$)

La carga y descarga de buques de graneles sólidos mediante sistemas continuos y su transporte desde o hasta las zonas de almacenamiento se realiza mediante procedimientos mecánicos o neumáticos por medio de equipos cargadores o descargadores, situados bien en el buque (buques autocargadores o autodescargadores), bien sobre la obra de atraque, y, en su caso, de elementos de conexión entre dichos equipos y la zona de almacenamiento o los modos de transporte terrestre viario o ferroviario (cintas transportadoras, tuberías, tornillos sin fin, ...).

La utilización de cada uno de estos procedimientos y las características de los mismos serán definidas por el Promotor, tomando en consideración el tipo o tipos de granel sólido a manipular, en particular sus pesos específicos y sus condiciones de alterabilidad, la flota de buques esperable en el atraque, el tipo de operación a realizar en la instalación (carga, descarga o ambas), los rendimientos necesarios, los requerimientos ambientales exigidos y las características de la instalación de almacenamiento asociada, así como su compatibilidad con la configuración física del atraque y con las condiciones climáticas en el emplazamiento. En general, los equipos utilizados en función del tipo de operación a realizar en la instalación y el tipo o tipos de granel sólido a manipular son los siguientes:

- ◆ Las operaciones de carga del buque por medios continuos se realizan en el caso de graneles sólidos pesados por procedimientos mecánicos con vertido al buque por gravedad, utilizando equipos cargadores alimentados por cintas transportadoras. Los equipos cargadores pueden ser tanto pórticos fijos como de movilidad restringida, sobre raíles o neumáticos, con plumas de longitud fija o variable, con posibilidad o no de movimientos de giro y basculamiento.

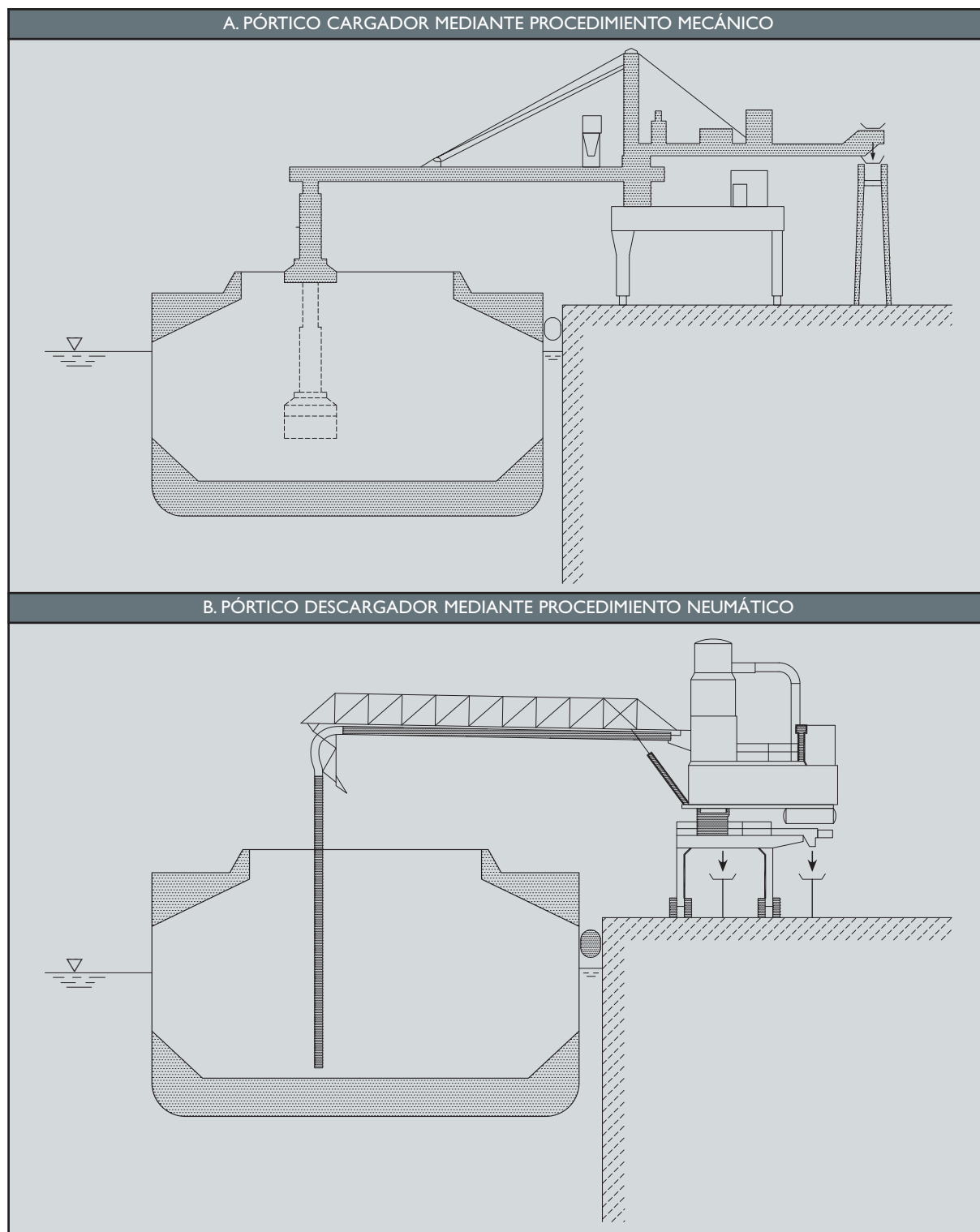
En función de las características de los equipos cargadores se distinguen entre:

- Cargador longitudinal: Equipo de movilidad restringida, con pluma de longitud fija o variable sin posibilidad de movimientos de giro o basculamiento.
- Cargador en arco: Equipo fijo, con pluma de longitud fija o variable, con posibilidad de movimientos de giro y basculamiento.
- Cargador lineal: Equipo de movilidad restringida, con pluma de longitud fija con posibilidad de movimientos de giro y basculamiento.

Los rendimientos de estos equipos son los de la cinta transportadora de alimentación.

En el caso de graneles sólidos ordinarios o pulverulentos, las operaciones de carga por medios continuos se realizan con medios que no difieren mucho de los utilizados para los graneles sólidos pesados aunque incluyendo sistemas de vertido que evitan el polvo y la disgregación en una gran caída. Para este tipo de graneles los sistemas de alimentación del cargador también pueden ser neumáticos con tubería (Ver figura 4.6.4.2).

Figura 4.6.4.2. Ejemplos de sistemas continuos de carga y descarga de buques de graneles sólidos



- ◆ Las operaciones de descarga del buque por medios continuos se realizan en el caso de graneles sólidos pesados por procedimientos mecánicos, utilizando equipos descargadores que incluyen sistemas de elevación vertical del granel hasta cintas que permiten su transporte hasta las áreas de almacenamiento. Los sistemas de elevación vertical más comunes son los elevadores de tornillo, los elevadores de cangilones, las rotopalas, los scrapers y las dobles cintas. Los equipos descargadores pueden ser tanto pórticos fijos como de movilidad restringida, sobre carriles o neumáticos, similares a los pórticos cargadores, e incluso de movilidad no restringida sobre neumáticos, con plumas de longitud fija o variable, con o sin capacidad de giro. Los rendimientos de estos equipos son los de los sistemas de elevación. En el caso de graneles sólidos ordinarios o pulverulentos, la descarga puede hacerse tanto por los procedimientos mecánicos similares a los utilizados para los graneles pesados, aunque con equipos menos pesados, como por procedimientos neumáticos de aspiración o impulsión, que permiten reducir la producción de polvo y las pérdidas de material. En este caso, el sistema de elevación está formado por una tubería flexible en cuyo extremo está la boca de aspiración o el dispositivo de introducción del material en la tubería de impulsión. Los sistemas de transporte hasta las áreas de almacenamiento o directamente hasta otros modos de transporte pueden ser tanto neumáticos como mecánicos (Ver figura 4.6.4.2).

Las cargas a tomar en consideración debidas a dichos equipos, los factores que influyen en las mismas, los parámetros que las definen, su distribución espacial y los criterios para la obtención de sus valores representativos y, en su caso, sus funciones de distribución, son equivalentes a los asociados con los equipos fijos, los de movilidad restringida y los de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación, en función del tipo de pórtico cargador o descargador considerado (Ver apartados 4.6.4.2.1.1.1 y 4.6.4.2.1.1.2). De igual forma que estos equipos, los estados límite correspondientes a las condiciones de trabajo operativas de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado por medios continuos deben definirse considerando como agente predominante tanto la velocidad del viento límite que permite realizar estas operaciones como los valores límite de operatividad del resto de variables de los agentes climáticos y operativos que paralizan la carga y descarga del buque, considerando todas las causas de paralización y todos los buques de la flota esperable en el atraque, en particular la causa de paralización por incompatibilidad de los movimientos del buque atracado con las operaciones de carga o descarga del buque por medios continuos. A estos efectos, existe una gran diferencia entre las operaciones de carga y descarga. En las operaciones de carga no existe contacto entre el buque y el utillaje por lo que son admisibles movimientos del buque mucho mayores que en las operaciones de descarga. Por dicha razón, las instalaciones de carga pueden construirse en zonas menos abrigadas que las instalaciones de descarga para los mismos niveles de operatividad. A falta de estudios más precisos de compatibilidad de los movimientos de los buques atracados con los equipos de carga y descarga considerados de acuerdo con los procedimientos establecidos en esta Recomendación o de especificaciones del fabricante del equipo, puede adoptarse con carácter general como valores de los agentes climáticos, cuando cada uno de ellos es el predominante y, por tanto, define el estado límite de realización de las operaciones de carga o descarga de graneles sólidos mediante sistemas continuos los consignados en la tabla 3.2.1.3, obtenidos considerando que los movimientos que producen en los buques atracados con condiciones de amarre estándar son los máximos admisibles usuales para equipos convencionales⁽⁴³⁾. En estos casos se considerará para la definición de las cargas, que actúa sobre el equipo cargador/descargador la velocidad y dirección del viento que da lugar a los máximos movimientos admisibles en el buque cuando para la definición del estado límite se adopte el viento como el agente predominante, siempre que dicha velocidad sea menor que el valor umbral de la misma que permite operar al equipo por razones intrínsecas de seguridad, o la velocidad y dirección del viento simultáneo compatible con el valor de la variable del agente climático u operativo que da lugar a los máximos movimientos admisibles del buque cuando ésta se adopta como predominante para la definición del estado límite en estas condiciones de trabajo operativas. A los efectos de las cargas transmitidas por estos equipos, únicamente se tomará en consideración esta última situación si la velocidad del viento compatible no supera el valor umbral más limitativo establecido en aquellos casos en que se considera que el viento es el agente predominante para la definición del estado límite de realización de las operaciones de carga y descarga con buque atracado mediante sistemas continuos de manipulación de graneles sólidos.

(43) Para operaciones de carga en general son admisibles amplitudes de los movimientos horizontales del buque de vaivén del orden de hasta 5,0 m y de deriva del orden de hasta 2,5 m. Para operaciones de descarga son admisibles menores movimientos horizontales del buque de vaivén y deriva (1,0 m y 0,5 m respectivamente), así como verticales de alzada (hasta 1,0 m). Para más detalles, ver tabla 4.6.4.22.

La elección de las características de los equipos cargadores y descargadores se realizará considerando que se debe dar servicio a todas las escotillas de los buques que utilicen la instalación con las limitaciones impuestas por la configuración física de la obra de atraque, mediante uno o varios equipos, con los rendimientos exigidos. Las cargas transmitidas por los mismos se solicitarán al fabricante de acuerdo con los formatos y requerimientos señalados en las tablas 4.6.4.6 y 4.6.4.7 para el caso de grúas pórtico y grúas de contenedores en función del tipo de cargador/descargador adoptado.

En ausencia de información precisa obtenida a partir de datos suministrados por los fabricantes, disponer con carácter general de órdenes de magnitud de los valores característicos de las cargas transmitidas por estos equipos es difícil debido a la diversidad tipológica existente en el mercado. No obstante lo anterior, las cargas transmitidas por equipos cargadores o descargadores longitudinales pueden aproximarse del lado de la seguridad a las transmitidas por las grúas para contenedores de igual alcance máximo incluidas en la tabla 4.6.4.10.

En previsión de posibles variaciones razonables durante la vida útil en las condiciones de utilización y criterios de explotación de una obra de atraque para uso comercial de graneles sólidos en la que se prevea la carga o descarga del buque por medios continuos o de incertidumbres que puedan producirse entre la fase de proyecto y de servicio de la obra, es recomendable que se adopten, en estos casos, las cargas mínimas establecidas en esta Recomendación para usos de graneles sólidos con instalación especial, cuando están previstos sistemas de manipulación de mercancías discontinuos por elevación (Ver apartado 4.6.4.2.1.1.1).

El resumen de las cargas mínimas a adoptar en las áreas de operación de obras de atraque y amarre de uso comercial de graneles sólidos en las que esté prevista la carga y descarga del buque mediante sistemas continuos se incluye en la tabla 4.6.4.23. Para la verificación de los modos de fallo globales, con carácter general puede considerarse que las cargas debidas a los sistemas de transporte desde o hasta las áreas de almacenamiento (cintas transportadoras, tuberías, ...) desplegados en las áreas de operación están cubiertas ampliamente por las sobrecargas mínimas de estacionamiento y almacenamiento establecidas en esta Recomendación para dichas áreas para usos comerciales de graneles sólidos con sistemas de manipulación continuos (10 kN/m^2 de acuerdo con la tabla 4.6.4.4, considerando los efectos del viento compatibles).

En lo que respecta a la verificación de modos de parada operativa, el agente de uso y explotación cuyos límites de operatividad definen el modo de parada operativa correspondiente a la paralización de carga y/o descarga con buque atracado es el agente “manipulación de graneles sólidos mediante sistemas continuos ($q_{v,232}$)” cuando la operativa de carga y/o descarga del granel sólido se realiza mediante este sistema de manipulación. A los efectos de verificar este modo de parada operativa se considerarán como valores umbral de los agente climáticos que limitan las operaciones de carga y descarga los definidos de acuerdo con lo dispuesto en este apartado para las condiciones de trabajo operativas. Para la verificación del nivel de operatividad de la instalación asociado a este modo de parada operativa será de aplicación lo dispuesto a estos efectos en apartado 4.1.1.3. Verificación de modos de parada operativa, así como en el epígrafe a_3 del apartado 4.6.4.2.1.1.1. Cargas transmitidas por equipos fijos y de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación.

4.6.4.2.2. MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS EN ÁREAS DE ALMACENAMIENTO ($q_{v,24}$)

El agente manipulación de mercancías en las áreas de almacenamiento está asociado con las cargas transmitidas por los equipos e instalaciones necesarios para la realización de las actividades de depósito, apilamiento, recogida y transporte de las mercancías en las áreas establecidas para su almacenamiento temporal para su ordenación y control con objeto de hacer posible con seguridad y eficiencia las operaciones de carga y descarga del buque, así como las actividades de transporte de las mercancías entre las áreas de operación y de almacenamiento y entre éstas u otras zonas dentro de la zona de servicio del puerto y las de transferencia con los modos de transporte terrestre utilizados para su entrega o recepción en puerto e incluso las de consolidación (grupaje) y desconsolidación de las mismas. No se incluyen en este apartado las cargas transmitidas por las instalaciones específicas de contención como tanques para graneles líquidos o silos para graneles sólidos, los cuales se considerará que forman parte de los agentes de estacionamiento y almacenamiento. Dichas instalaciones suelen llevar incorporados sistemas continuos de transferencia de las mercancías con el área de operación y desde o hasta los modos de transporte terrestre.

Tabla 4.6.4.22. Valores recomendados para los desplazamientos, giros y amplitudes máximos admisibles del buque atracado compatibles con las operaciones de carga y descarga de mercancías y de embarque y desembarque de pasajeros con equipos convencionales en condiciones seguras ^{1) 2)}

TIPO DE BUQUE	SISTEMA DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS O DE EMBARQUE Y DESEMBARQUE DE PASAJEROS	VAIVÉN (m)	DERIVA (m)	ALTEADA (m)	GUIÑADA (m)	CABECEO (°)	BALANCE (°)
Petrolero	Continuo: brazo articulado	±3,5	3,0	—	—	—	—
Gasero	Continuo: brazo articulado	±2,0	2,0	—	±1	±1	±1
Granalero y polivalente	Discontinuo elevación: carga	±1,0	1,0	—	±1	±1	±1
	Discontinuo elevación: descarga	±0,5	0,5	±0,5	±1	±1	±1
	Continuo: carga	±2,5	2,5	—	±1,5	—	—
	Continuo: descarga	±0,5	0,5	±0,5	±1	±1	±1
Mercante de Carga General	Discontinuo: elevación	±1,0	1,5	±0,5	±1,5	±1	±2,5
Portacontenedores	Discontinuo: elevación	±0,5	0,6	±0,4	±0,5	±0,5	±0,5
Ro-Ro/Ferry/Transportador de coches ³⁾	M. rodantes: rampa lateral	±0,5	0,6	±1,2	±0,1	±1	±2,5
	M. rodantes: rampa 3/4	±0,5	0,6	±1,0	±0,8	±0,6	±1
	M. rodantes: rampa a proa o popa	±0,3	0,6	±1,0	±0,5	±0,6	±0,8
Ferry/Crucero	Pasarela embarque/desembarque de pasajeros	±0,4	0,8	±0,25	±0,1	±0,1	±0,1
Pesquero	Discontinuo: elevación	±0,5	1,0	±0,2	±1,5	±1,5	±1,5
Notas 1) Los máximos movimientos horizontales y verticales incluidos en esta tabla se consideran respecto a la situación de reposo del buque atracado, medidos en su centro de gravedad, excepto para el caso del movimiento de deriva que se corresponden con la distancia medida en la dirección de alejamiento del sistema de atraque (obra de atraque + defensa). Los giros también se consideran medidos alrededor de los ejes horizontales y vertical que pasan por su centro de gravedad, respecto a la situación de reposo. 2) Los valores reflejados en la tabla son válidos para movimientos del buque causados por viento, corrientes y oleajes; es decir para movimientos con periodos medios entre 10 y 20 s. para movimientos del buque amarrado con periodos mayores, así como en presencia de ondas largas podrán aceptarse valores mayores. A su vez, los datos de la tabla corresponden a buques de dimensiones medias en relación con el rango de los existentes de cada tipo (Ver tabla 4.6.4.34). Los movimientos admisibles tienden a ser más reducidos para los buques de mayores dimensiones que las correspondientes al buque medio y más amplios para los buques de menores dimensiones que éste. 3) Si un buque opera con tipos de rampa diferente, los movimientos deben entenderse para la operación de cada rampa específica.							

Tabla 4.6.4.23. Resumen: sobre cargas mínimas de manipulación de mercancías en áreas de operación

		MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS EN ÁREAS DE OPERACIÓN						
		MEDIANTE SISTEMAS DISCONTINUOS POR ELEVACIÓN			MEDIANTE SISTEMAS DISCONTINUOS POR MEDIOS RODANTES		MEDIANTE SISTEMAS CONTINUOS	
		EQUIPOS FIJOS Y DE MOVILIDAD RESTRINGIDA (q _{v,211})	EQUIPOS DE MOVILIDAD NO RESTRINGIDA (q _{v,212})	EQUIPOS AUXILIARES DE TRANSPORTE Y DEPÓSITO (q _{v,213})	(q _{v,221})		PARA GRANELES LÍQUIDOS (q _{v,231})	PARA GRANELES SÓLIDOS (q _{v,232})
USO	BUQUE MÁXIMO DE PROYECTO	APARTADO 4.6.4.2.1.1.1	APARTADO 4.6.4.2.1.1.2	APARTADO 4.6.4.2.1.1.3	APARTADO 4.6.4.2.1.2.1		APARTADO 4.6.4.2.1.3.1	APARTADO 4.6.4.2.1.3.2
COMERCIAL								
GRANELES LÍQUIDOS	< 10.000 TPM	---	GRÚA MÓVIL 100/25 ¹⁾	---	---		BRAZOS ARTICULADOS PARA TUBERÍAS DE 8" ²⁾	---
	10.000-20.000 TPM	---		---	---		---	
	20.000-30.000 TPM	---		---	---	BRAZOS ARTICULADOS PARA TUB. 10" ²⁾	---	
	30.000-40.000 TPM	---		---	---	BRAZOS ARTICULADOS PARA TUB. 12" ²⁾	---	
	40.000-50.000 TPM	---		---	---	BRAZOS ARTICULADOS PARA TUB. 16" ²⁾	---	
	> 50.000 TPM	---		---	---	BRAZOS ARTICULADOS PARA TUB. 20" ²⁾	---	
GRANELES SÓLIDOS	SIN INSTALACIÓN ESPECIAL DE CARGA Y DESCARGA	< 2.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 60/25	GRÚA MÓVIL 100/25 ⁴⁾	---	---	---	---
		2.000-8.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 120/25		---	---	---	---
		8.000-15.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 160/30	GRÚA MÓVIL 150/30 ⁴⁾	---	---	---	---
		15.000-25.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 300/35	GRÚA MÓVIL 250/35 ⁴⁾	---	---	---	---
		25.000-50.000 TPM		GRÚA MÓVIL 300/40 ⁴⁾	---	---	---	---
		> 50.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 500/40	GRÚA MÓVIL 400/45 ⁴⁾	---	---	---	---
	CON INSTALACIÓN ESPECIAL DE CARGA Y DESCARGA ³⁾	< 10.000 TPM	GRÚA PORTACONTE- NEDORES TIPO 13	GRÚA MÓVIL 100/25 ⁴⁾	---	---	---	GRÚA PORTA- CONTENEDORES TIPO 13
		10.000-15.000 TPM		GRÚA MÓVIL 150/30 ⁴⁾	---	---	---	
		15.000-25.000 TPM		GRÚA MÓVIL 250/35 ⁴⁾	---	---	---	
		25.000-50.000 TPM		GRÚA MÓVIL 300/40 ⁴⁾	---	---	---	
		50.000-100.000 TPM		GRÚA MÓVIL 400/45 ⁴⁾	---	---	---	
		> 100.000 TPM	GRÚA PORTACON- TENEDORES TIPO 16	GRÚA MÓVIL 500/50 ⁴⁾	---	---	---	GRÚA PORTA- CONTENEDORES TIPO 16
MERCANCÍA GENERAL CONVENCIONAL ORDINARIA	< 2.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 60/25	GRÚA MÓVIL 100/25	CARRETILLA ELEVADORA FRONTAL DE 200 kN	---	---	---	---
	2.000-8.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 120/25			---	---	---	---
	8.000-15.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 160/30	GRÚA MÓVIL 150/30		---	---	---	---
	15.000-25.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 300/35	GRÚA MÓVIL 250/35		---	---	---	---
	25.000-50.000 TPM		GRÚA MÓVIL 300/40		---	---	---	---
	> 50.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 500/40	GRÚA MÓVIL 400/45		---	---	---	---

Resumen: cargas mínimas de manipulación de mercancías en áreas de operación (continuación)

MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS EN ÁREAS DE OPERACIÓN									
		MEDIANTE SISTEMAS DISCONTINUOS POR ELEVACIÓN			MEDIANTE SISTEMAS DISCONTINUOS POR MEDIOS RODANTES		MEDIANTE SISTEMAS CONTINUOS		
		EQUIPOS FIJOS Y DE MOVILIDAD RESTRINGIDA (<i>q_{v211}</i>)	EQUIPOS DE MOVILIDAD NO RESTRINGIDA (<i>q_{v212}</i>)	EQUIPOS AUXILIARES DE TRANSPORTE Y DEPÓSITO (<i>q_{v213}</i>)	(<i>q_{v221}</i>)	PARA GRANELES LÍQUIDOS (<i>q_{v231}</i>)	PARA GRANELES SÓLIDOS (<i>q_{v232}</i>)		
USO	BUQUE MÁXIMO DE PROYECTO	APARTADO 4.6.4.2.1.1.1	APARTADO 4.6.4.2.1.1.2	APARTADO 4.6.4.2.1.1.3	APARTADO 4.6.4.2.1.2.1	APARTADO 4.6.4.2.1.3.1	APARTADO 4.6.4.2.1.3.2		
COMERCIAL									
MERCANCÍA GENERAL CONVENCIONAL PESADA	< 10.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 300/35	GRÚA MÓVIL 250/35	CARRETILLA ELEVADORA FRONTAL DE 300 kN	---	---	---		
	10.000-15.000 TPM				---	---			
	15.000-25.000 TPM		GRÚA MÓVIL 300/40		---	---	---		
	25.000-50.000 TPM				---	---	---		
	> 50.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 500/40	GRÚA MÓVIL 400/45		---	---	---		
CONTENEDORES	> 3.000 TEU	GRÚA DE CONTENEDORES TIPO 13	GRÚA MÓVIL 250/35	APILADOR DE ALCANCE 450/300/150 kN	---	---	---		
	3.000-4.000 TEU		GRÚA MÓVIL 300/40		---	---	---		
	4.000-5.000 TEU	GRÚA DE CONTENEDORES TIPO 16	GRÚA MÓVIL 400/45		---	---	---		
	5.000-6.000 TEU	GRÚA DE CONTENEDORES TIPO 18	GRÚA MÓVIL 500/50		---	---	---		
	6.000-10.000 TEU	GRÚA DE CONTENEDORES TIPO 20			---	---	---		
	> 10.000 TEU	GRÚA DE CONTENEDORES TIPO 22			---	---	---		
RO-RO	INDEPENDIENTE DEL TAMAÑO DEL MÁXIMO BUQUE DE PROYECTO	---	GRÚA MÓVIL 100/25 ⁵⁾	CARRETILLA ELEVADORA FRONTAL DE 300 kN	- CARRETILLA ELEVADORA FRONTAL DE 300 kN - TRACTOR/ PLATAFORMA RODANTE DE 800 kN	---	---		
FERRIS	< 10.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 300/35 ⁵⁾	GRÚA MÓVIL 250/35 ⁵⁾	CARRETILLA ELEVADORA FRONTAL DE 300 kN	TRACTOR/ PLATAFORMA RODANTE DE 800 kN ⁶⁾	---	---		
	10.000-15.000 TPM		GRÚA MÓVIL 300/40 ⁵⁾			---	---		
	15.000-25.000 TPM					---	---		
	25.000-50.000 TPM					---	---		
	50.000-100.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 500/40 ⁵⁾	GRÚA MÓVIL 400/45 ⁵⁾			---	---		
	> 100.000 TPM		GRÚA MÓVIL 500/50 ⁵⁾			---	---		
MULTIPROPÓSITO	< 10.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 300/35 ⁵⁾	GRÚA MÓVIL 250/35 ⁵⁾	CARRETILLA ELEVADORA FRONTAL DE 300 kN	TRACTOR/ PLATAFORMA RODANTE DE 800 kN ⁶⁾	---	---		
	10.000-15.000 TPM		GRÚA MÓVIL 300/40 ⁵⁾			---	---		
	15.000-25.000 TPM					---	---		
	25.000-50.000 TPM					---	---		
	50.000-100.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 500/40 ⁵⁾	GRÚA MÓVIL 400/45 ⁵⁾			---	---		
	> 100.000 TPM		GRÚA MÓVIL 500/50 ⁵⁾			---	---		

Resumen: cargas mínimas de manipulación de mercancías en áreas de operación (continuación)

		MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS EN ÁREAS DE OPERACIÓN					
		MEDIANTE SISTEMAS DISCONTINUOS POR ELEVACIÓN			MEDIANTE SISTEMAS DISCONTINUOS POR MEDIOS RODANTES	MEDIANTE SISTEMAS CONTINUOS	
		EQUIPOS FIJOS Y DE MOVILIDAD RESTRINGIDA (q_{v211})	EQUIPOS DE MOVILIDAD NO RESTRINGIDA (q_{v212})	EQUIPOS AUXILIARES DE TRANSPORTE Y DEPÓSITO (q_{v213})	(q_{v221})	PARA GRANELES LÍQUIDOS (q_{v231})	PARA GRANELES SÓLIDOS (q_{v232})
USO	BUQUE MÁXIMO DE PROYECTO	APARTADO 4.6.4.2.1.1.1	APARTADO 4.6.4.2.1.1.2	APARTADO 4.6.4.2.1.1.3	APARTADO 4.6.4.2.1.2.1	APARTADO 4.6.4.2.1.3.1	APARTADO 4.6.4.2.1.3.2
CRUCEROS	INDEPENDIENTE DEL TAMAÑO DEL MÁXIMO BUQUE DE PROYECTO	---	GRÚA MÓVIL 100/25 ⁷⁾	---	---	---	---
PESQUERO	INDEPENDIENTE DEL TAMAÑO DEL MÁXIMO BUQUE DE PROYECTO	---	GRÚA MÓVIL 100/25 ⁷⁾	---	---	---	---
NÁUTICO-DEPORTIVO	INDEPENDIENTE DEL TAMAÑO DEL MÁXIMO BUQUE DE PROYECTO	---	GRÚA MÓVIL 100/25 ⁷⁾	---	---	---	---
INDUSTRIAL O MILITAR ⁸⁾	< 10.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 300/35 ^{5) 7)}	GRÚA MÓVIL 250/35 ^{5) 7)}	CARRETILLA ELEVADORA FRONTAL DE 300 kN	---	---	---
	10.000-15.000 TPM				---	---	---
	15.000-25.000 TPM		GRÚA MÓVIL 300/40 ^{5) 7)}		---	---	---
	25.000-50.000 TPM	GRÚA PÓRTICO 500/40 ^{5) 7)}	GRÚA MÓVIL 400/45 ^{5) 7)}		---	---	---
	50.000-100.000 TPM		GRÚA MÓVIL 500/50 ^{5) 7)}		---	---	---
	> 100.000 TPM		GRÚA MÓVIL 500/50 ^{5) 7)}		---	---	---

Notas

- 1) Únicamente en obras de atraque y amarre accesibles al tráfico rodado, tanto si la carga o descarga del buque es mediante sistemas continuos como discontinuos.
- 2) Únicamente en obras de atraque y amarre fijas.
- 3) Se considera a estos efectos instalación especial de carga y descarga de graneles sólidos a los sistemas de manipulación continuos y a los discontinuos por elevación mediante pórticos de descarga con cuchara.
- 4) Únicamente en obras de atraque y amarre accesibles al tráfico rodado, tanto si la carga o descarga del buque es mediante sistemas continuos como discontinuos.
- 5) No se considerará la actuación de esta carga en los tacones o rampas necesarios para acceder al buque desde la coronación de la obra de atraque.
- 6) Deberán además considerarse las cargas mínimas debidas a equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito establecidos para este uso en los casos de sistemas discontinuos de carga y descarga del buque por elevación.
- 7) Únicamente en obras de atraque y amarre accesibles al tráfico rodado.
- 8) Las cargas mínimas consignadas para usos industrial y militar serán de aplicación a estos usos con carácter general. No obstante, en el caso de que los usos industrial o militar sean más específicos y se refieran exclusivamente a la manipulación de graneles líquidos, sólidos o cualquier otro uso equivalente a los usos comerciales, se aplicarán como cargas mínimas las correspondientes a dicho uso.

En función de su variabilidad espacial se distinguirán los siguientes equipos e instalaciones de manipulación de mercancías en áreas de almacenamiento:

- ◆ Equipos de apilamiento, recogida o intercambio modal de movilidad restringida (q_{v241}) como pórticos, puentes grúa, máquinas apiladoras o recogedoras, instalaciones de carga y descarga de vagones, ..., bien

fijos o que circulan sobre carriles o sobre neumáticos con movimientos canalizados sobre bandas longitudinales o circulares.

- ◆ Equipos de apilamiento, recogida o intercambio modal de movilidad no restringida ($q_{v,242}$), como grúas móviles.
- ◆ Equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito sobre neumáticos de movilidad no restringida ($q_{v,243}$), como carretillas elevadoras frontales o laterales, carretillas puente o pórtico (straddle carriers), apiladores de alcance (reach stackers), ..., e incluso, unidades tractor-plataformas rodantes utilizadas para la carga y descarga del buque por medios rodantes si se utilizan estos equipos para el traslado de las mercancías desde las áreas de operación hasta las de almacenamiento o viceversa.

Salvo para los equipos fijos y de movilidad restringida, la distribución espacial de las cargas transmitidas por estos equipos se considera libre, limitada únicamente por su compatibilidad con las condiciones de explotación establecidas para la instalación. En el caso de los equipos de movilidad restringida se considerará libre en las bandas de circulación establecidas. Se adoptará aquella distribución que produzca los efectos más desfavorables para el modo de fallo analizado.

La utilización de cada uno de estos equipos no es excluyente y puede ser simultánea en función de las condiciones de explotación y de la organización de la operativa establecidas. En la práctica, en función del tipo de mercancía, de la composición de los tráficos (importación, exportación o tránsito), del sistema de entrega/recepción de las mercancías (viario, ferroviario o navegación interior), del sistema adoptado para la carga y descarga del buque, de las características físicas del área de almacenamiento (dimensiones, configuración y alejamiento del área de operación) y de las condiciones de depósito o apilamiento adoptadas pueden considerarse sistemas de manipulación combinados formados por varios equipos tanto fijos y de movilidad restringida como no restringida de actuación simultánea. Además es previsible su variación a lo largo de la vida útil de la instalación. Los sistemas y equipos de manipulación de mercancías en el área de almacenamiento y las características de los mismos serán definidos por el Promotor tomando en consideración los aspectos citados. En general, los equipos utilizados para cada uso en dicha área son los siguientes:

- ◆ **Para usos comerciales de graneles líquidos**, el transporte desde el buque al área de almacenamiento y viceversa suele realizarse mediante sistemas continuos (tuberías) hasta tanques de almacenamiento. Así mismo, la transferencia de la carga a o desde los modos de transporte terrestre se realiza mediante instalaciones especiales de carga y descarga y sistemas de transporte continuo.
- ◆ **Para usos comerciales de graneles sólidos**, cuando la mercancía descargada del buque alcance el área de almacenamiento mediante sistemas de transporte continuos (cinta transportadora, tubería), las operaciones de apilamiento se realizan mediante máquinas apiladoras, en general de movilidad restringida, formadas por brazos móviles que permiten que dichos sistemas de transporte alcancen los distintos puntos de apilamiento. De igual forma, cuando la carga del buque se hace por medios continuos se utilizan máquinas recogedoras, también generalmente de movilidad restringida, que permiten alimentar los sistemas continuos de transporte hacia el área de operación mediante procedimientos mecánicos (cangilones,...) o neumáticos. Existen máquinas combinadas que permiten realizar ambas funciones de apilamiento y recogida. Aunque poco común y únicamente para volúmenes de carga pequeños, si el transporte del granel desde o hasta el área de almacenamiento para su carga o descarga en el buque se hace por medios discontinuos (camiones), las operaciones de apilamiento o recogida se realizan normalmente mediante palas o grúas móviles. Por otra parte, la transferencia de la carga a los modos de transporte terrestre desde o hasta el área de apilamiento suele realizarse de forma equivalente, bien mediante instalaciones especiales de carga y descarga y sistemas de transporte continuo (especialmente con el modo ferroviario) o sistemas discontinuos [palas o grúas móviles más camiones volquete (dumpers)].
- ◆ **Para usos comerciales de mercancía general convencional, cargada o descargada del buque mediante sistemas discontinuos por elevación**, tanto las operaciones de apilamiento y recogida como las de transferencia con los modos de transporte terrestre en el área de almacenamiento se realizan con los equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito sobre neumáticos de movilidad no restringida, especialmente las carretillas elevadoras frontales y los apiladores de alcance. El transporte

horizontal desde o hasta el área de operación suele realizarse con estos mismos equipos o mediante sistemas tractor-remolque.

- ◆ **Para usos comerciales de contenedores** las operaciones de apilamiento y recogida, así como las de transferencia con los modos de transporte terrestre, se realizan en el área de almacenamiento mediante los siguientes sistemas:
 - *Sistema tractor-remolque*, en el cual los contenedores son manipulados y apilados sobre plataformas o semirremolques aptos para su circulación por carretera. El transporte horizontal de los mismos en el área de almacenamiento y entre ésta y el área de operación se realiza mediante unidades tractoras.
 - *Sistema carretilla puente, pórtico o lanzadera (straddle carrier)*, en el cual los contenedores son apilados, recogidos, transferidos desde o hasta los modos de transporte terrestre y transportados horizontalmente en el área de almacenamiento mediante carretillas pórtico o lanzadera. El transporte horizontal de los mismos entre el área de almacenamiento y el área de operación puede realizarse mediante los mismos equipos (sistema directo) o mediante otros equipos auxiliares de transporte horizontal, especialmente mediante unidades tractor-remolque (sistema indirecto).
 - *Sistema de pórticos*, en el cual los contenedores son apilados, recogidos y transferidos desde o hasta los modos de transporte terrestre mediante equipos de movilidad restringida como grúas pórtico sobre neumáticos ⁽⁴⁴⁾, grúas pórtico sobre carriles ⁽⁴⁵⁾ o puentes grúas ⁽⁴⁶⁾. El transporte horizontal de los mismos en el área de almacenamiento o entre ésta y el área de operación se realiza mediante unidades tractor-remolque, sistemas multiplataformas (MTS), carretillas lanzadera (Shuttle carriers) o vehículos automáticos autoguiados (AGV).
 - *Sistema de carretillas elevadoras/apiladoras (forklift truck/reach stackers)*, en el cual los contenedores son apilados, recogidos y transferidos desde o hasta los modos de transporte terrestre mediante carretillas elevadoras, apiladoras o combinaciones de ambas. El transporte horizontal de los mismos entre el área de almacenamiento y operación puede realizarse mediante los mismos equipos (sistema directo) o mediante otros equipos auxiliares de transporte horizontal como las unidades tractor-remolque (sistema indirecto).
 - *Sistema mixto*, en el cual se utilizan para las operaciones en el área de almacenamiento una combinación de pórticos, carretillas puente y otros equipos auxiliares simultáneamente, cada uno de ellos para una función específica.
- ◆ **Para usos comerciales de mercancía general cargada o descargada del buque por medios rodantes (instalaciones ro-ro y ferris)**, cuando las operaciones de carga y descarga del buque se hacen de forma autopropulsada (camiones con semirremolques, turismos como mercancía, ...) o no autopropulsada aunque utilizando remolques y semirremolques de carretera no son necesarios equipos de manipulación en el caso de que se prevean áreas de almacenamiento asociadas, salvo las unidades tractoras necesarias para el traslado de los remolques y semirremolques entre estas áreas y las de operación. Cuando las operaciones de carga y descarga del buque no son autopropulsadas utilizando plataformas rodantes de bajo gálibo (roll trailers) o sin ruedas (cassettes), tanto las operaciones de apilamiento y recogida como las de transferencia con los modos de transporte terrestre en el área de almacenamiento se realizan con los equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito sobre neumáticos de movilidad no restringida, especialmente las carretillas elevadoras frontales y los apiladores de alcance. El transporte horizontal entre el área de operación y almacenamiento suele realizarse con estos mismos equipos o, si no están muy alejadas (< 500 m), remolcando las plataformas rodantes mediante las unidades tractoras utilizadas para la carga y descarga del buque.
- ◆ **Para usos comerciales multipropósito**, al poderse realizar las operaciones de carga y descarga del buque tanto por elevación como por medios rodantes, los equipos de manipulación a considerar en las

(44) En terminología inglesa los pórticos sobre neumáticos se denominan Rubber Tyred Gantry Cranes (RTG). Cuando están automatizados se denominan Automatic Stacking Cranes (ASC).

(45) En terminología inglesa los pórticos sobre carriles se denominan Rail Mounted Gantry Cranes (RMG).

(46) En terminología inglesa los puentes grúa se denominan OverHead Bridge Cranes (OHBC).

áreas de almacenamiento asociadas serán en general carretillas elevadoras frontales y apiladores de alcance. El transporte horizontal entre las áreas de operación y almacenamiento se realizarán con estos mismos equipos, con sistemas tractor-plataforma, remolcando, en su caso, las plataformas rodantes o de forma autopropulsada.

Las cargas a tomar en consideración debidas a los equipos de manipulación en áreas de almacenamiento ($q_{v,24}$), los factores que influyen en las mismas, los parámetros que las definen, su distribución espacial y los criterios para la obtención de sus valores representativos y, en su caso, sus funciones de distribución son equivalentes a los definidos para los mismos equipos en las áreas de operación (Ver apartados 4.6.4.2.1.1.2, 4.6.4.2.1.1.3 y 4.6.4.2.1.2.1). Asimismo, para los equipos específicos de movilidad restringida que se utilizan en las áreas de almacenamiento se adoptarán criterios equivalentes a los de los equipos de movilidad restringida en áreas de operación (Ver apartado 4.6.4.2.1.1.1), con las simplificaciones que en su caso sean necesarias debidas a la configuración geométrica del equipo [por ejemplo, ausencia de brazo o pluma en los pórticos sobre neumáticos o raíles (RTG/RMG/ASC)]. No obstante, en este caso las condiciones de trabajo operativas se considerarán las correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de depósito, apilamiento, recogida y transporte en el área de almacenamiento, definiéndose para la velocidad límite del viento que permite dicha operación en condiciones de seguridad. A falta de otros criterios, se adoptará como viento límite aquél cuya velocidad media en el intervalo (ráfaga) de 3 s a 10 m de altura sea 24 m/s. En el caso que se considere que la actuación de estos equipos puede ser relevante para la verificación de otras condiciones de trabajo operativas de la instalación distintas a las de depósito, apilamiento, recogida y transporte en el área de almacenamiento, así como de condiciones de trabajo extremas y excepcionales, se adoptará la velocidad de viento que corresponda a estas condiciones, tomando en consideración la situación en la que se encuentra la configuración de cada equipo cuando se presenta dicha velocidad de viento (en servicio o no).

Las cargas transmitidas por los equipos de manipulación de mercancías en las áreas de almacenamiento se considerarán compatibles con las debidas a las de almacenamiento de mercancías y al tráfico terrestre. En general, para la verificación de modos de fallo globales será suficiente únicamente considerar en las áreas de almacenamiento conjuntamente las sobrecargas repartidas de almacenamiento o de tráfico terrestre con las cargas debidas a equipos de manipulación fijos y de movilidad restringida en su banda de actuación cuando esté previsto la utilización de este tipo de equipos, sin perjuicio de que se analice para cada caso particular la relevancia para los mismos de las combinaciones simplificadas indicadas en esta Recomendación asociadas con la manipulación de mercancías en el área de operación (Ver apartado 4.6.4.2.1). Para la verificación de modos de fallo locales deberán tomarse en consideración alternativamente las cargas concentradas más desfavorables transmitidas tanto por las mercancías almacenadas y el tráfico terrestre como las transmitidas por todos los equipos de manipulación considerados. A estos efectos no se considerará la actuación simultánea de este tipo de cargas cuando correspondan a diferentes equipos o elementos.

En ausencia de información más precisa obtenida a partir de los datos suministrados por el Fabricante para los equipos previstos por el Promotor, podrán adoptarse como órdenes de magnitud indicativos de los valores representativos de las cargas transmitidas por equipos considerados actualmente como estándar los consignados en las tablas 4.6.4.14 para grúas móviles, en las tablas 4.6.4.14 y 4.6.4.19 para equipos auxiliares de transporte y depósito, en la tabla 4.6.4.24 para pórticos sobre neumáticos (RTG) o sobre carriles (RMG) y en la tabla 4.6.4.25 para camiones volquetes. Para otros equipos de movilidad restringida de depósito, apilamiento y recogida, particularmente los utilizados para graneles sólidos, es difícil dar órdenes de magnitud de las cargas transmitidas debido a la diversidad tipológica existente en el mercado.

◆ **Cargas mínimas**

Aunque las cargas transmitidas por los equipos de manipulación de mercancías en las áreas de almacenamiento pueden ser muy distintas en función de las condiciones de explotación establecidas, en previsión de posibles variaciones razonables en las condiciones de utilización y criterios de explotación durante la vida útil o de incertidumbres que puedan producirse entre la fase de proyecto y de servicio de la obra, es recomendable que se adopten como mínimo en las áreas de almacenamiento asociadas a instalaciones de atraque y amarre las cargas de manipulación adoptadas para su área de operación en lo

que respecta a equipos de movilidad no restringida y equipos auxiliares de transporte y depósito. Por tanto, en el caso de que se adopten las cargas mínimas, serán de aplicación a las áreas de almacenamiento las cargas consignadas en la tabla 4.6.4.23 para equipos de movilidad no restringida y para equipos auxiliares de transporte y depósito en función del uso de la instalación adoptada, del buque máximo de proyecto y del sistema de carga y descarga del buque adoptado.

En lo que respecta a la verificación del modos de parada operativa, el agente de uso y explotación cuyos límites de operatividad definen el modo de parada operativa correspondiente a la paralización de las operaciones de depósito, apilamiento, recogida y transporte en el área de almacenamiento es el agente “manipulación de mercancías en áreas de almacenamiento ($q_{v,24}$). A los efectos de verificar este modo de parada operativa se considerarán como valores umbral de las variables de los agentes climáticos que limitan estas operaciones, para cada una de las posibles causas de paralización de estas operaciones en el emplazamiento, los definidos de acuerdo en lo dispuesto en este apartado para las condiciones de trabajo operativas. Para la verificación del nivel de operatividad de la instalación asociado a este modo de parada operativa será de aplicación lo dispuesto a estos efectos en el apartado 4.1.1.3. Verificación de modos de parada operativa, así como en los epígrafes correspondientes a esta verificación de los apartados 4.6.4.2.1.1.1 a 4.6.4.2.1.1.3, considerando únicamente aquellas causas de paralización no dependientes de la interfase con el buque.

Tabla 4.6.4.24. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por pórticos sobre neumáticos (RTG) o carriles (RMG) estándar para áreas de almacenamiento ¹⁰⁾

El diagrama ilustra la configuración geométrica y las dimensiones de los pórticos RTG (sobre neumáticos) y RMG (sobre carriles). Se muestran tres vistas: una vista lateral del pórtico RTG, una vista superior de la configuración de los pórticos y una vista lateral del pórtico RMG.

Las dimensiones y componentes etiquetados son:

- PÓRTICO SOBRE CARRILES (RMG)**: Pórtico que se mueve sobre carriles.
- PÓRTICO SOBRE NEUMÁTICOS (RTG)**: Pórtico que se mueve sobre neumáticos.
- MÁXIMA ALTURA DE ELEV. BAJO SPREADER**: Altura máxima de elevación del spreader.
- S**: Distancia entre ejes de las patas del pórtico RTG.
- W**: Separación entre patas del pórtico RTG.
- B**: Ancho total del pórtico RTG.
- G₁**: Distancia entre ejes de las patas del pórtico RTG.
- G₂**: Distancia entre ejes de las patas del pórtico RMG.
- (n-1)S**: Distancia entre ejes de las patas del pórtico RMG.

TIPO DE PÓRTICO

DESPLAZAMIENTO			SOBRE NEUMÁTICOS (RTG)			SOBRE CARRILES (RMG) ¹⁾
CARACTERÍSTICAS PÓRTICO	Capacidad de carga bajo spreader (kN)		400			400-500
	Máx altura de elevación bajo spreader	Nº contenedores	3+1	4+1	5+1	3+1 a 8+1
		m	12,5	15,5	18,5	12,5 a 28,0
	Peso (kN)		800	1200	1500	1600-3500 ²⁾
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA	Distancia entre ejes bandas circular (G_1)	Nº contenedores	5+calzada	6+calzada	7+calzada	6 a 20
		m	20,7	23,5	26,5	20,7 a 60
	Alcance de voladizos (G_2)	Nº contenedores	—	—	—	0 a 3 en 1 ó ambos lados
		m	—	—	—	0 a 15 en 1 ó ambos lados
	Separación (W) entre patas (m)		7,4	7,4	7,4	15-17
	Nº de ruedas por pata (n)		1 ³⁾	2 ⁴⁾	2 ⁴⁾	2 a 4 ²⁾

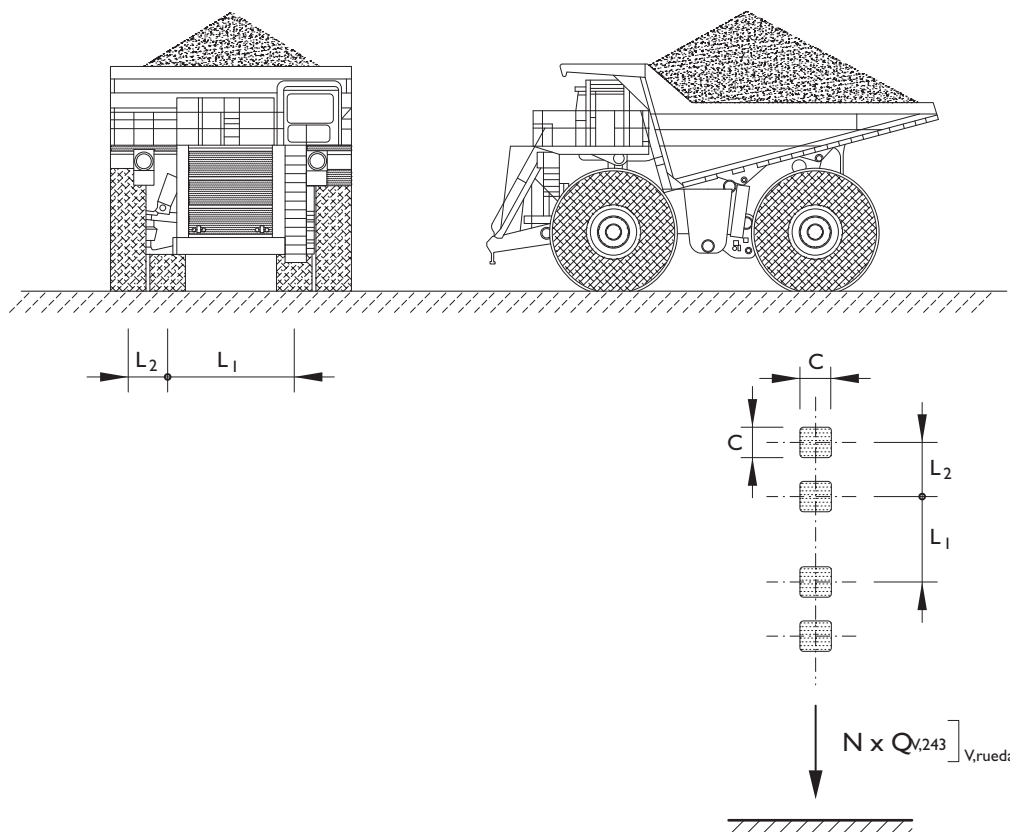
Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por pórticos sobre neumáticos (RTG) o carriles (RMG) estándar para áreas de almacenamiento ¹⁰⁾ (continuación)

TIPO DE PÓRTICO						
DESPLAZAMIENTO			SOBRE NEUMÁTICOS (RTG)			SOBRE CARRILES (RMG) ¹⁾
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA	Separación (S) de ruedas (m)		—	2,5	2,5	1,1 a 1,5
	Distancia (B) entre topes (m)		11	14	14	20 a 25
	Dimensiones (cxc) del área de contacto (m x m)		5)	5)	5)	—
MÁXIMA CARGA POR RUEDA (kN) ⁶⁾	En condiciones de Operación ⁷⁾	Vertical	530	320	360	300-320
		Horizontal ⁹⁾	65	40	45	45-50
	En condiciones Extremas y Excepcionales debidas a viento extraordinario ⁸⁾	Vertical	225	170	210	230-250
		Horizontal ⁹⁾	40	25	30	40-45

Notas

- 1) Los pórticos sobre carriles (RMG) se distinguen de los pórticos sobre neumáticos (RTG) principalmente por alcanzar mayores separaciones entre bandas de rodadura, permitiendo el almacenamiento de hasta 20 filas de contenedores, así como por disponer de voladizos laterales en uno o ambos lados del pórtico. En algunos casos incluso estos voladizos pueden ser mayores que los considerados estándar (hasta 15 m), utilizándose no únicamente en el área de almacenamiento sino simultáneamente para la carga y descarga por elevación de buques de tamaño pequeño (barcazas y feeder). Las tipologías existentes de este tipo de pórticos son, por tanto, muy variadas y de difícil sistematización por lo que se incluye únicamente en la tabla los rangos de variación estándar de cada uno de los parámetros. En general, los primeros valores de cada rango se refieren a los pórticos de menor altura y distancia entre caniles, siendo los finales correspondientes a los pórticos de mayor luz y altura.
- 2) Equipos más pesados (hasta 6500 kN) están también disponibles en el mercado. En este caso se suelen disponer hasta 16 ruedas por banda de rodadura con el objeto de mantener las cargas por rueda en los órdenes de magnitud consignados en esta tabla. Bajo cada pata se mantiene el carretón con cuatro ruedas, introduciéndose dos nuevos carretones con cuatro ruedas en el espacio libre entre patas.
- 3) Este tipo de equipo también está disponible en el mercado con 2 ruedas por pata (8 en todo el equipo), siendo de aplicación la configuración geométrica de separación de ruedas definidas para los equipos con este número de ruedas por pata. Las cargas máximas en este caso deberán dividirse por 2 respecto a las consignadas en esta tabla.
- 4) Este tipo de equipo también está disponible en el mercado con 4 ruedas por pata (16 en todo el equipo). En este caso se dispone doble rueda en la dirección perpendicular a la banda de circulación, manteniéndose la separación de ruedas en la dirección de circulación. Las cargas máximas en este caso deberán dividirse por 2 respecto a las consignadas en esta tabla. Puede observarse que las cargas transmitidas por los equipos con 16 ruedas están cubiertas por las transmitidas por el tráfico terrestre viario, no siendo necesario un dimensionamiento específico de las bandas de circulación.
- 5) Para obtener las dimensiones del área de contacto pueden considerarse presiones del orden de 1000 kN/m².
- 6) Las cargas máximas por rueda consignadas en esta tabla tienen únicamente un valor indicativo de su orden de magnitud para cada tipo de pórtico, habiéndose obtenido del análisis de las correspondientes a diferentes fabricantes. Dependiendo del fabricante puede variar de forma significativa tanto la configuración geométrica como las cargas máximas por rueda, por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si ésto no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores nominales máximos que no deben superarse por los equipos, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación.
- 7) Considerando una velocidad del viento en el emplazamiento $V_{v,3s}$ (10 m) = 24 m/s (\approx 86 km/h) en dirección transversal a la banda de circulación, incluyendo los efectos inerciales asociados al movimiento de la carga y del equipo (traslación o frenada). No se tienen en cuenta los efectos debidos a posibles giros de los equipos sobre neumáticos (RTG). En las zonas en las que se produzca giros de estos equipos puede considerarse que las cargas transmitidas son un 30% superiores a las consignadas en la tabla. Definidas las cargas verticales en las ruedas de las patas más cargadas, las cargas en las ruedas de las otras patas pueden obtenerse considerando que la suma de todas las cargas transmitidas debe igualar a la suma de las cargas verticales actuantes (peso propio+máxima carga izada+efectos inerciales). Los efectos inerciales pueden estimarse como el 15% de la máxima carga izada. Para otra velocidad del viento se calculará de acuerdo con lo dispuesto en la cláusula 3) de la tabla 4.6.4.10.
- 8) Considerando una velocidad del viento en el emplazamiento $V_{v,3s}$ (10 m) = 40 m/s (\approx 144 km/h) en dirección transversal a la banda de circulación. Para la determinación de la carga máxima para otra velocidad del viento puede utilizarse el procedimiento simplificado consignado en la tabla 4.6.4.10. Definidas las cargas verticales por rueda en las patas más cargadas, las correspondientes a las otras patas pueden obtenerse considerando que la suma de todas las cargas debe igualar a las cargas verticales actuantes (peso propio).
- 9) Carga horizontal en dirección transversal a la dirección de rodadura, concordante con la dirección de actuación del viento. Definidas las cargas horizontales en las patas más cargadas, puede considerarse que sobre las otras patas actúa la misma carga horizontal. En condiciones de operación, la componente de la acción horizontal debida al viento puede aproximarse a la acción horizontal en condiciones extremas incluida en la tabla dividida por el coeficiente 2.78 [40² / 24²]. En condiciones de operación debe considerarse que también actúa simultáneamente una acción horizontal adicional en la dirección de la banda de rodadura, causada por los movimientos del equipo (traslación o frenada), igual al 15% de las cargas verticales. No están incluidos en este valor los efectos debidos a los giros.
- 10) Los otros valores representativos (de combinación, frecuente y cuasipermanente) tanto en condiciones del equipo en servicio como fuera de servicio pueden obtenerse de acuerdo con lo consignado a estos efectos en la nota 6) de la tabla 4.6.4.10.

Tabla 4.6.4.25. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por camiones volquete estándar (Dumper) ⁴⁾

					
TIPO DE CAMIÓN VOLQUETE					
Capacidad de carga (kN)			2000	2400	4000
CARACTERÍSTICAS DE EQUIPO	Peso (kN)		1500	1550	2300
	Nº ruedas (N)		4	4	4
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL EJE MÁS CARGADO	Separación (L1) centros ruedas int (m)		3,7	3,7	3,9
	Separación (L2) centros ruedas ex/in (m)		1,1	1,2	1,75
	Dimensiones (cxc) área contacto (m x m)		1)	1)	1)
MÁXIMA CARGA POR RUEDA EN EJE MÁS CARGADO (kN) 4)	Sin operación	Vertical	250	250	350
	En condiciones de operación 5)	Vertical	650	750	1100
		Horizontal	0,05 Vert	0,05 Vert	0,05 Vert
Carga vertical uniforme equivalente (kN/m²)			30	35	45
Notas 1) Para obtener las dimensiones del área de contacto pueden considerarse presiones del orden de 1000 kN/m². 2) Las cargas máximas consignadas en esta tabla tienen únicamente un valor indicativo de su orden de magnitud, habiéndose obtenido del análisis de las correspondientes a varios fabricantes. Dependiendo del fabricante pueden variar de forma significativa, por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si esto no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores nominales máximos que no deben superarse, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación. Las máximas cargas por rueda incluyen la amplificación dinámica y los efectos inerciales debidos a la traslación y frenada, aunque no el giro. En las zonas en las que se produzca el giro de estos equipos puede considerarse que las cargas transmitidas son un 30% superiores a las consignadas en esta tabla. 3) Acción horizontal en la dirección de circulación del equipo. 4) Puede considerarse como suficientemente aproximado adoptar como valor cuasi-permanente de las cargas transmitidas por los equipos incluidos en esta tabla 0,90 el valor de las componentes verticales en condiciones de operación. La acción horizontal de actuación simultánea se considerará nula.					

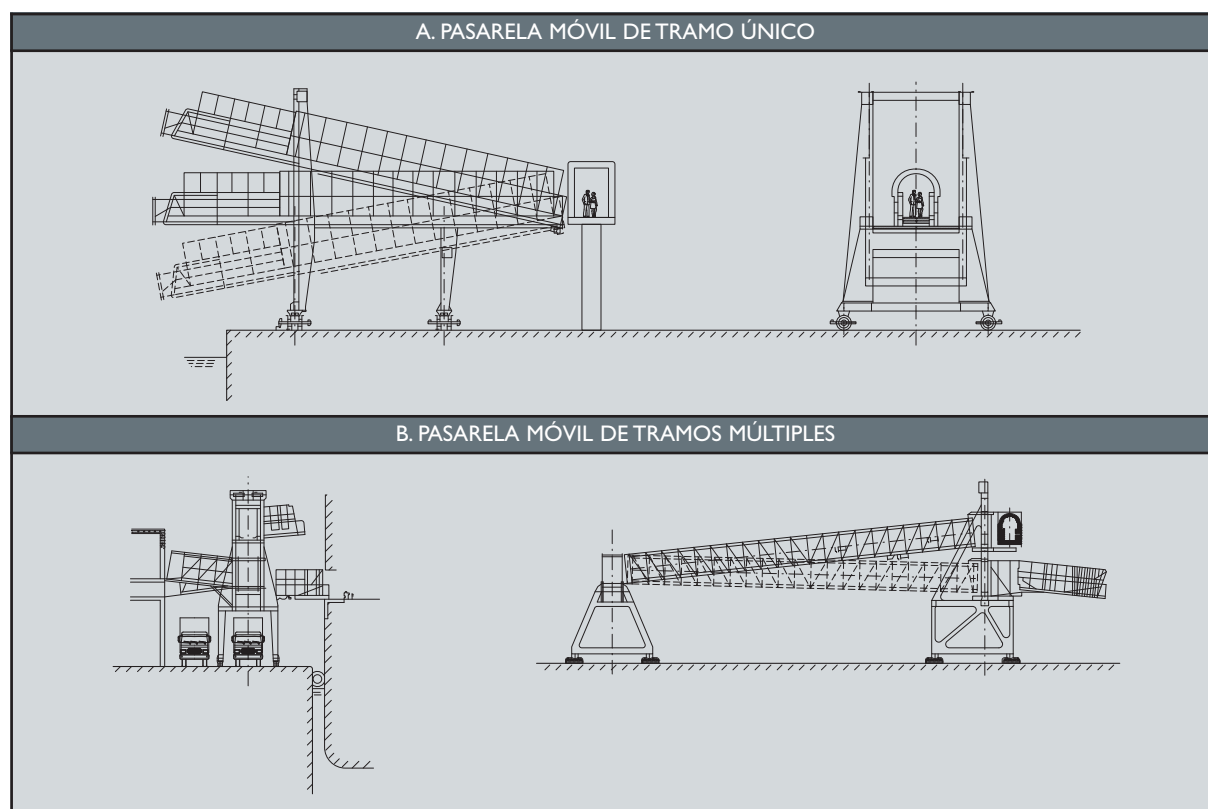
4.6.4.2.3. EMBARQUE Y DESEMBARQUE DE PASAJEROS ($q_{v,25}$)

El agente embarque y desembarque de pasajeros está asociado con las cargas transmitidas por los equipos e instalaciones que permiten el acceso de los pasajeros y de los equipajes desde la estación marítima o la superficie de la obra de atraque y amarre a los buques de pasaje y viceversa, en condiciones de seguridad.

La actuación de este agente se considerará limitada a las obras de atraque y amarre para usos comerciales de pasajeros, tanto para ferris como para cruceros y otras embarcaciones de pasajeros.

Es recomendable que el acceso de los pasajeros a los buques se realice a través de instalaciones que finalicen en pasarelas elevadas que independicen el movimiento de los pasajeros del tráfico viario y de otras actividades portuarias que se desarrollan en el área de operación de la obra de atraque y amarre. La tipología, características y dimensiones de este tipo de instalaciones son muy variadas. En general suelen estar formadas por instalaciones fijas elevadas que permiten a los pasajeros alcanzar la zona de operación de la obra de atraque desde la estación marítima sin interferencias, complementadas en su tramo final por una o una serie de pasarelas conectadas sustentadas en pórticos de movilidad restringida circulando normalmente sobre carriles, aunque también pueden circular sobre bandas de circulación utilizando ruedas macizas. Estos pórticos tienen normalmente limitación de movimientos, bien según una banda de circulación paralela a la línea de atraque, bien según un arco circular, con el objeto de compatibilizar la instalación fija y la posición en planta de los portalones de la flota de buques esperable en cada atraque y en cada momento. Una vez alineados con el portalón del buque, estos pórticos permiten un cierto rango de movimientos verticales y horizontales de las pasarelas para su total adaptación a las diferentes alturas de los portalones de la flota de buques esperable en el atraque y a los movimientos de los buques atracados en las condiciones climáticas en el emplazamiento consideradas como operativas, particularmente las que afectan a los niveles de las aguas exteriores (Ver figura 4.6.4.3).

Figura 4.6.4.3. Ejemplos de equipos para el embarque y desembarque de pasajeros



Los equipos para el embarque y desembarque de pasajeros deberán ser definidos por el Promotor, tomando en consideración el tamaño y composición de la flota de buques esperable en el atraque, la cota de acceso de los pasajeros al área de operación, bien directamente desde la estación marítima bien a través de una instalación fija elevada, la anchura del área de operación y los niveles de variación de las aguas exteriores, con el objeto de mantener en todas las condiciones que se definan como operativas el acceso al buque con pendientes en valores seguros y confortables para los pasajeros ⁽⁴⁷⁾. En general, los equipos formados por una pasarela de tramo único se utilizarán cuando el tamaño y composición de la flota de buques de proyecto sea relativamente homogénea, como en el caso de obras de atraque para ferris, siempre que la zona de operación no sea muy estrecha y la variación de los niveles de las aguas exteriores no sea relevante. Cuando el ancho del área de operación sea reducido, los niveles de variación de las aguas exteriores significativos o el tamaño y composición de la flota de buques de proyecto muy heterogéneo que den lugar a un amplio espectro de alturas de portalón, suelen utilizarse pasarelas de tramos múltiples que permiten mayores desarrollos y, por tanto, mayores niveles de adaptabilidad a las condiciones locales. Este último caso es común en las obras de atraque para cruceros o polivalentes ferris-cruceros, dado que, independientemente de los otros factores, en estos casos en general la composición de la flota suele ser muy heterogénea (Ver figura 4.6.4.3).

Dadas las características de los equipos más comunes para el embarque y desembarque de pasajeros, las cargas a tomar en consideración transmitidas por estos equipos ($q_{v,25}$), los factores que influyen en las mismas, los parámetros que las definen, su distribución espacial y los criterios para la obtención de sus valores nominales o de sus valores representativos y, en su caso, sus funciones de distribución son equivalentes a las definidas para los equipos de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación, con las simplificaciones que sean necesarias asociadas con la diferente configuración geométrica del equipo y a la no existencia de efectos debidos a distintas posiciones de la pluma y de la carga manipulada (Ver apartado 4.6.4.2.1.1.1).

Como condiciones de trabajo operativas se considerarán las correspondientes al estado límite de realización de las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros, definiéndose los estados límites a partir de la adopción como variables predominantes los valores de la velocidad del viento que paraliza las operaciones por condiciones de seguridad del equipo y de la operación, o los valores de las variables de los agentes del medio físico que dan lugar a movimientos del buque atracado o a desniveles entre el portalón y la pasarela que impidan las operaciones de embarque y desembarque o no sean compatibles con las condiciones exigibles de seguridad o confort para los pasajeros en el rango de variación de los niveles de las aguas exteriores considerado como operativo (pendientes de la pasarela menores que las máximas admisibles (Ver nota 47).

Cuando se adopte como agente predominante para definir un estado límite en estas condiciones de trabajo el viento, a los efectos de definición de las cargas se adoptará el menor valor de la velocidad del viento de entre los que limiten estas operaciones, considerando todas las causas de paralización de las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros y todos los buques de la flota esperable en el atraque.

Cuando el agente predominante adoptado para la definición del estado límite no sea el viento, para la definición de las cargas en esta situación se adoptará la velocidad y dirección del viento compatible con el valor del agente considerado como predominante en el estado meteorológico (Ver apartado 4.6.2.1. Agentes climáticos). Estos estados límites deberán tomarse en consideración por si pudieran ser globalmente más desfavorables para el modo de fallo analizado considerando todas las cargas de actuación simultánea, aunque sean más limitativos en lo que respecta a la velocidad del viento. A estos efectos, únicamente se tomarán en consideración estas últimas situaciones si la velocidad del viento compatible con las mismas no supera el valor umbral más limitativo establecido en aquellos casos en que se considera que el viento es el agente predominante para la definición del estado límite de realización de las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros.

(47) En general, deben preverse equipos para el embarque y desembarque de pasajeros que permitan el acceso al buque de personas con discapacidad o movilidad reducida que precisan pendientes no superiores al 5%. En todo caso, con el objeto de garantizar la seguridad y confortabilidad del pasaje, en condiciones operativas las pendientes de las pasarelas de embarque y desembarque de pasajeros no serán superiores del 12%.

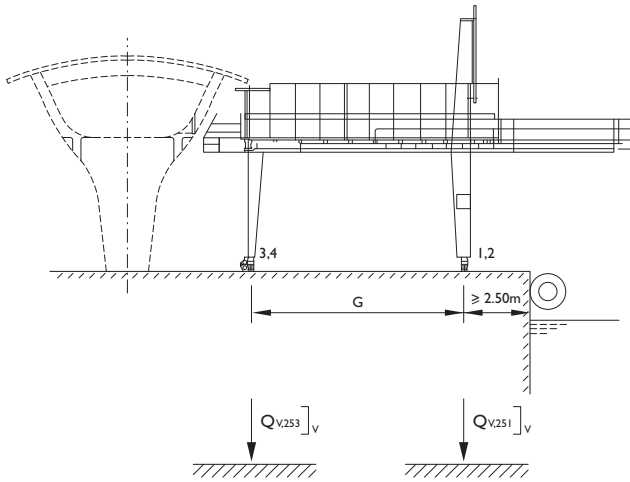
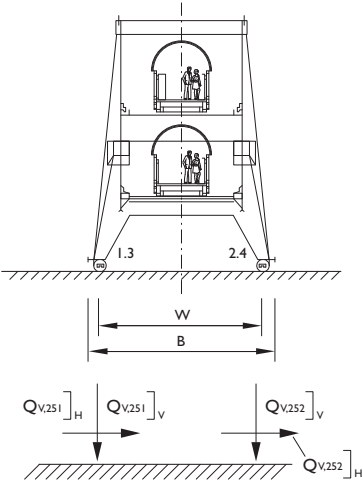
A falta de estudios más precisos entre movimientos del buque atracado y agente actuante de acuerdo con los procedimientos y con los valores admisibles establecidos en esta Recomendación para este tipo de equipos (ver tabla 4.6.4.22), así como de especificaciones del fabricante, pueden adoptarse con carácter general como valores límite de operatividad de los distintos agentes climáticos, cuando cada uno de ellos se adopta como predominante y, por tanto define un estado límite correspondiente a las condiciones de trabajo operativas de realización de las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros mediante pasarelas móviles, los consignados en la tabla 3.2.1.3 ($V_{v,3s} = 24 \text{ m/s}$; $V_{c 10 \text{ min}} = 1,5 \text{ m/s}$ o $H_s = 0,5/0,3 \text{ m}$ con longitudes de onda mayores que la eslora del buque, en función de que el oleaje actúe en sentido longitudinal o transversal a la línea de atraque), obtenidos considerando que los movimientos que producen en los buques atracados con condiciones de amarre tipo son los máximos admisibles usuales compatibles con las pasarelas convencionales ⁽⁴⁸⁾ y que la velocidad de viento usual de paralización de la operativa de las pasarelas móviles por razones intrínsecas de seguridad del equipo y de la operativa es $V_{v,3s} = 24 \text{ m/s}$.

Las cargas transmitidas por los equipos para el embarque y desembarque de pasajeros se considerarán incompatibles con las transmitidas por los equipos de manipulación de mercancías en el área de operación. Por el contrario, sí que se considerarán compatibles con las debidas al estacionamiento y almacenamiento de mercancías y al tráfico terrestre. En los casos en los que los equipos para el embarque y desembarque de pasajeros sean de movilidad restringida, en general para la verificación de modos de fallo “globales” es admisible considerar la carga transmitida por cada pata del equipo como una carga lineal equivalente a la carga transmitida por las ruedas, obtenida por división de la carga transmitida por cada una de ellas (o por dos de ellas en los casos en los que se dispone doble rueda por eje) por la separación entre ejes de ruedas. Dicha carga lineal se extenderá a una distancia igual a la existente entre ejes de ruedas extremas, aumentada en una separación entre ruedas. Salvo que las condiciones de explotación definan expresamente otra cosa, del lado de la seguridad se considerará que varios equipos pueden trabajar simultáneamente o estar estacionados en situación de topes unidos. Sin perjuicio de mantener la diferenciación entre las cargas de cada pata para una mejor optimización de la obra, simplificada para facilitar los cálculos, del lado de la seguridad podrá adoptarse en todas las patas situadas en cada uno de los lados (lado mar y lado tierra) una misma carga vertical, horizontal transversal y horizontal longitudinal, considerando los valores compatibles asociados al valor mayor de cada una de estas componentes, obtenidos para todas las configuraciones del equipo y viento compatibles con el estado de proyecto considerado. Para la verificación de modos de fallo locales deberán tomarse en consideración alternativamente todas las cargas concentradas, tanto las transmitidas por dichos equipos como por las mercancías estacionadas o almacenadas, por el tráfico terrestre y por los equipos de manipulación de mercancías cuya actuación se prevea. A estos efectos, no se considerará la actuación simultánea de este tipo de cargas cuando correspondan a diferentes equipos o elementos.

Las cargas transmitidas por las pasarelas móviles se obtendrán a partir de la combinación de las acciones simultáneas y compatibles que en cada estado de proyecto representativo de los ciclos de solicitud asociados a la normal explotación de la instalación de atraque (condiciones de trabajo operativas), a la inoperatividad de la misma (condiciones de trabajo extremas) o a la presentación de un agente extraordinario o insólito (condiciones de trabajo excepcionales) actúan sobre el equipo, tomando en consideración tanto las diferentes configuraciones que puede adoptar el equipo en dicho estado y la dirección del viento, como, en su caso, la disposición o no de sistemas de anclaje. Para ello, el fabricante del equipo deberá suministrar las cargas verticales y horizontales transmitidas por cada agente actuando aisladamente en cada una de las configuraciones del equipo. Es recomendable solicitar estos datos al fabricante de acuerdo con el formato y requerimientos señalados en la tabla 4.6.4.7 para el caso de grúas de contenedores con las simplificaciones necesarias debidas a la diferente configuración del equipo y a la inexistencia de carga manipulada, de forma que sea posible definir los valores representativos y, en su caso, las funciones de distribución asociadas con dichas cargas. En ausencia de información más precisa obtenida a partir de los datos suministrados directamente por los fabricantes para los equipos de embarque y desembarque de pasajeros previstos por el Promotor, podrán adoptarse como órdenes de magnitud de los valores representativos de las cargas transmitidas por algunas pasarelas móviles sobre carriles consideradas actualmente como estándar los consignados en la tabla 4.6.4.26.

(48) En general, las máximas amplitudes admisibles de los movimientos horizontales y verticales de los buques atracados para poder realizar las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros mediante pasarelas móviles convencionales son del orden 0,8 m y 0,5 m respectivamente. Así mismo las amplitudes admisibles de los giros (balance, cabeceo y guiñada) son prácticamente insignificantes (0,2°). Para más detalles ver la tabla 4.6.4.22.

Tabla 4.6.4.26. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por pasarelas móviles estándar de movilidad restringida para el embarque y desembarque de pasajeros (Tramo único o tramo final de acceso al buque) ⁹⁾

							
TIPO DE PASARELA MÓVIL 1)							
TAMAÑO			PEQUEÑO 2)		GRANDE 3)		
Peso (kN)			300		600		
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA	Distancia entre carriles (G) (m)		7,5-10,0		> 10,0		
	Separación entre patas (W) (m)		4,0-7,0		5,8-8,0		
	Nº de ruedas por pata (n)		1 4)		2 4)		
	Separación entre ruedas (S) (m)		—		1,5		
	Distancia entre topes (B) (m)		5,0-8,0		7,5-10,5		
MÁXIMA CARGA POR RUEDA EN EJE MÁS CARGADO (kN) 5)	En condiciones de Operación 6)	Vertical	125		125		
		Horizontal 8)	18		18		
	En condiciones Extremas 7)	Vertical	130		155		
		Horizontal 8)	40		40		

Notas

1) Se consideran únicamente pasarelas sustentadas en pórticos de traslación sobre carriles, uno lado mar y otro lado tierra.

2) En general, las pasarelas móviles de tamaño pequeño incluidas en esta tabla se corresponden con pasarelas de tramo único para áreas de operación de ancho medio o reducido (entre 12,5 y 15 m).

3) En general, las pasarelas móviles de tamaño grande incluidas en esta tabla se corresponden con pasarelas de tramo único para áreas de operación de gran ancho (> 15 m). Las máximas cargas por rueda incluidas en esta tabla corresponden a pasarelas de tramo único. Para el tramo final de las pasarelas de tramo múltiple puede considerarse la misma configuración geométrica que para las pasarelas de tamaño grande con un aumento del 30% en las máximas cargas por rueda.

4) En algunas tipologías de pasarelas se coloca doble rueda por eje. En esos casos, la carga máxima por rueda es la mitad que la consignada en la tabla al mantenerse la máxima carga por pata.

5) Las cargas máximas por rueda consignadas en esta tabla tienen únicamente un valor indicativo del orden de magnitud para cada tipo de pasarela. Dependiendo del fabricante, las variaciones tanto geométricas como de los valores de las cargas máximas pueden ser significativas, por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si esto no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores nominales máximos que no deben superarse por los equipos de embarque y desembarque de pasajeros, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación.

6) Considerando que la pasarela está cubierta y que actúa una velocidad de viento en el emplazamiento $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 24\text{ m/s}$ ($\approx 86\text{ km/h}$), actuando en dirección transversal a la banda de circulación del equipo y en el sentido más desfavorable, así como la amplificación dinámica. Definidas las cargas verticales en las patas más cargadas, las cargas verticales sobre el resto de patas pueden aproximarse considerando que la suma de todas las cargas verticales debe ser igual a 1,10 veces el peso propio.

7) Considerando que la pasarela está cubierta y una velocidad del viento en el emplazamiento correspondiente a condiciones extremas es $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 40\text{ m/s}$ ($\approx 144\text{ km/h}$) en la dirección perpendicular a la banda de circulación del equipo. Para la determinación de la carga máxima para otra velocidad del viento puede utilizarse el siguiente procedimiento simplificado:

- Considerar que el peso propio del equipo se reparte uniformemente entre todas las patas. De esta forma se puede obtener las componentes de la carga debido al viento en cada pata ($Q_{fc,2 \mid v0}$) para la velocidad del viento $V_0 = 40\text{ m/s}$.
- Considerar que la componente del viento para una velocidad V_1 ($Q_{fc,2 \mid v1}$) puede obtenerse mediante la relación $Q_{fc,2 \mid v1} = Q_{fc,2 \mid v0} (V_1/V_0)^2$.

Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por pasarelas móviles estándar de movilidad restringida para el embarque y desembarque de pasajeros (Tramo único o tramo final de acceso al buque)⁹⁾ (continuación)

Notas

- 8) Carga horizontal en la dirección transversal a la dirección de rodadura, concordante con la dirección de actuación del viento. Definidas las componentes horizontales en las patas más cargadas, puede considerarse que sobre las otras patas actúa la misma carga horizontal. En condiciones de operación, la componente de la acción horizontal debida al viento puede aproximarse a la acción horizontal en condiciones extremas incluida en la tabla dividida por el coeficiente 2,78. En condiciones de operación debe considerarse que actúa simultáneamente una acción horizontal adicional en la dirección de la banda de circulación del equipo causada por los movimientos del equipo (traslación o frenada) que puede estimarse en el 15% de las cargas verticales.
- 9) Los otros valores representativos (de combinación, frecuente y cuasipermanente) en condiciones del equipo fuera de servicio pueden aproximarse a partir de las máximas cargas por rueda en condiciones extremas, considerando la velocidad del viento que le corresponda a cada valor representativo de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.8., calculados a través del procedimiento establecido en la cláusula 7). En condiciones del equipo en servicio, simplificadaamente podrán adoptarse valores reducidos de los valores establecidos para condiciones normales de operación que, para el caso del valor frecuente, serán iguales a 0,95 los correspondientes a dichos valores y para el caso del valor cuasi-permanente a 0,90.

◆ **Cargas mínimas**

En previsión de posibles variaciones razonables en las condiciones de utilización y criterios de explotación de la obra de atraque y amarre durante su vida útil o de incertidumbres que puedan producirse entre la fase de proyecto y de servicio de la obra, para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas de las ecuaciones de verificación es recomendable que se adopten como mínimo las siguientes valores representativos de las cargas transmitidas por equipos para el embarque y desembarque de pasajeros, aunque la utilización de dichos equipos no esté inicialmente prevista o detallada por el Promotor:

- *Para usos comerciales de pasajeros, tanto en los casos ferris como cruceros*
 - Cuando la anchura del área de operación sea ≤ 15 m y el tamaño y composición de la flota de buques esperable en el atraque permita mantener con una pasarela de tramo único las pendientes en los rangos admisibles en las condiciones del emplazamiento consideradas como operativas (niveles de las aguas exteriores), se adoptarán como cargas mínimas las correspondientes a la pasarela móvil de tamaño pequeño incluidas en la tabla 4.6.4.26.
 - Cuando la anchura del área de operación sea > 15 m pero el tamaño y composición de la flota de buques esperable en el atraque permite mantener con una pasarela de tramo único las pendientes en los rangos admisibles en las condiciones del emplazamiento consideradas como operativas, se adoptarán como cargas mínimas las correspondientes a la pasarela móvil de tamaño grande, incluidas en la tabla 4.6.4.26.
 - En el resto de los casos se adoptarán como cargas mínimas las incluidas en la tabla 4.6.4.26 correspondientes a la pasarela móvil de tamaño grande, incrementadas en un 30% (equivalentes al tramo final de una pasarela de tramos múltiples).
- En obras de atraque y amarre del resto de usos no se considerarán cargas mínimas debidas a equipos para el embarque y desembarque de pasajeros.

El agente de uso y explotación cuyos límites de operatividad definen el modo de parada operativa correspondiente a la paralización de las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros es el agente "Embarque y desembarque de pasajeros ($q_{v,25}$). A los efectos de verificar este modo de parada operativa se definirán los valores umbral de las variables de los agentes climáticos que limitan las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros, para cada una de las siguientes causas de paralización de estas operaciones que sean relevantes en el emplazamiento, de acuerdo con lo dispuesto para las correspondientes condiciones de trabajo en este apartado:

- ◆ Paralización por razones intrínsecas de seguridad del equipo y de las operaciones.
- ◆ Paralización por incompatibilidad con los movimientos del buque atracado.
- ◆ Paralización por incompatibilidad de niveles y pendientes entre portalón del buque y pasarela.

- ◆ Paralización por rebases de las aguas exteriores o, en su caso, del trasdós, sobre el nivel de coronación de la obra de atraque.
- ◆ Paralización por rebases del oleaje sobre la coronación de obras de abrigo, en el caso de obras de atraque adosadas o próximas a éstas.

El nivel de operatividad conjunto correspondiente a este modo de parada podrá obtenerse de forma equivalente a lo dispuesto a estos efectos en el apartado 4.1.1.3. Verificación de modos de parada operativa, así como en el epígrafe a₃ del apartado 4.6.4.2.1.1.1. Cargas transmitidas por equipos fijos y de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación, sin perjuicio de que cuando se verifique la paralización de la instalación de atraque por incompatibilidad de niveles y pendientes asociada con el nivel bajo de las aguas la probabilidad de parada no se definirá como la probabilidad de excedencia de dicho valor sino como la probabilidad de no excedencia.

En general, en las instalaciones de atraque es recomendable que el nivel de coronación de las mismas se fije de forma que nominalmente no se produzca la paralización de la instalación por rebases de las aguas (Ver apartado 3.2.2.1. Nivel de coronación del atraque). De igual forma, en el caso de obras de atraque adosadas o próximas a diques es recomendable que los niveles de coronación de las obras de abrigo se proyecten de modo que la probabilidad de parada de las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros asociada con los rebases de oleaje a través de la coronación del dique sea nominalmente nula.

Se adoptará como variable climática predominante la velocidad del viento para la causa de paralización por razones intrínsecas de seguridad del equipo y de la operación, el nivel alto y bajo de las aguas exteriores para la paralización por incompatibilidad de niveles y pendientes, así como el nivel alto o, en su caso, la altura de ola para la paralización por rebases. Para la paralización por incompatibilidad de movimientos del buque atracado se adoptará la velocidad del viento, la altura de ola, el periodo del oleaje y la velocidad de la corriente.

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación de los modos de fallo, la obtención de las funciones de distribución de las cargas transmitidas en los diferentes ciclos de sollicitación por las pasarelas de embarque y desembarque tipo considerados en la tabla 4.6.4.26 que se exige que se adopten como mínimos, se realizará a través de la adaptación a estos equipos del procedimiento establecido a estos efectos en el apartado 4.6.4.2.1.1.1. En el caso de que se apliquen las cargas máximas incluidas en la tabla 4.6.4.26 correspondientes a condiciones de trabajo operativas, podrán considerarse como valores nominales de los límites establecidos por condiciones de explotación del equipo y, por tanto, simplifcadamente, carentes de incertidumbre estadísticas durante la fase de servicio, siempre que sea el viento el agente que determine la operatividad de la instalación.

4.6.4.2.4. MANIPULACIÓN DE EMBARCACIONES PESQUERAS, DEPORTIVAS Y DE RECREO ($q_{v,26}$)⁽⁴⁹⁾

El agente manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo está asociado con las cargas transmitidas por los equipos e instalaciones que permiten la transferencia de dichas embarcaciones entre tierra y agua; es decir, su botadura o su puesta en seco para la realización de las necesarias operaciones de reparación, mantenimiento, limpieza o internada de las mismas, así como su transporte por vía terrestre por el interior del área portuaria.

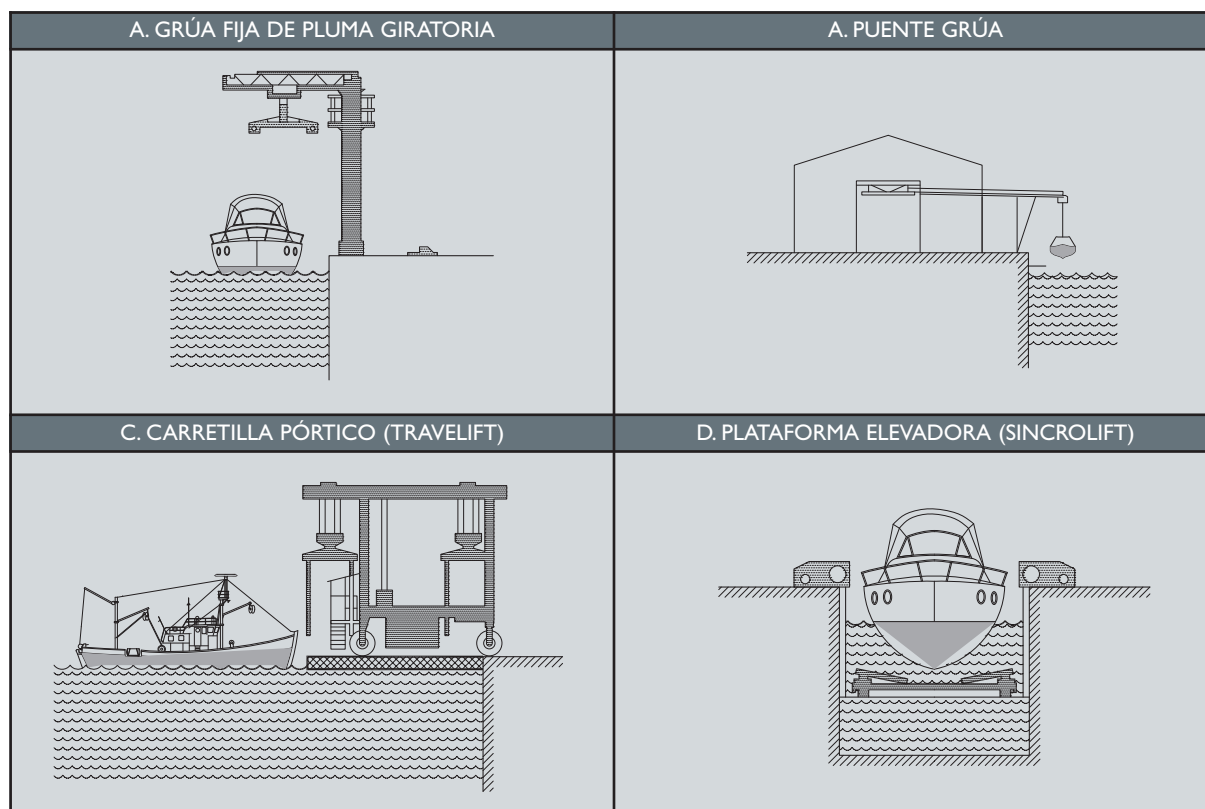
La actuación de este agente se considerará limitada a las obras de atraque y amarre para usos pesquero y náutico-deportivo y únicamente en las zonas de las áreas de operación y almacenamiento de las mismas especialmente previstas por el Promotor para la realización de estas operaciones para cada uno de los buques considerados (rampas de botadura y varada, pantalanos paralelos, fosos, marinas secas,...), en función de las diferentes actividades a realizar y de los equipos adoptados para su realización.

(49) El agente "manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo" se considera simplifcadamente que forma parte de los agentes de manipulación de mercancías y de embarque y desembarque de pasajeros aunque las embarcaciones pesqueras, deportivas o de recreo no son mercancías, dado que las características de los equipos que permiten la manipulación de este tipo de embarcaciones, así como el tratamiento de las cargas transmitidas por los mismos, son equivalentes a los correspondientes a algunos equipos de manipulación de mercancías.

Los principales tipos de equipos con los que se realizan normalmente estas operaciones son (Ver figura 4.6.4.4):

- ◆ Equipos fijos como grúas de pluma giratoria o puentes-grúa.
- ◆ Grúas móviles sobre neumáticos.
- ◆ Carretillas elevadoras frontales (forklift).
- ◆ Carretillas pórtico sumergibles y no sumergibles (travelift).
- ◆ Plataformas elevadoras (sincrolift).
- ◆ Remolques de transporte (transporters).

Figura 4.6.4.4. Equipos de manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo



La posible utilización de estos equipos y las características de los mismos serán definidas por el Promotor, tomando en consideración las características de la instalación, pesquera ó náutico-deportiva, las operaciones a realizar y, en particular, el tamaño y composición de la flota previsible de embarcaciones usuarias. La utilización de estos equipos no es excluyente, pudiéndose utilizar, en algunos casos varios de ellos complementariamente. En general, los equipos utilizados para cada tipo y tamaño de buque son los siguientes:

- ◆ Las grúas de pluma giratoria específicas para estas operaciones tienen un alcance máximo inferior a 10-15 m y se utilizan, igual que otros equipos fijos, para dar servicio a una amplia gama de embarcaciones de tamaño pequeño (hasta 150-200 kN de desplazamiento).
- ◆ Las carretillas elevadoras frontales, adaptadas con mecanismos que permiten disponer las horquillas por debajo del cantil de la obra de atraque hasta alcanzar el casco en flotación, son también convenientes para embarcaciones de tamaño pequeño (hasta 150 kN de desplazamiento) en dársenas sin marea o con pequeñas oscilaciones del nivel de las aguas.
- ◆ Las carretillas pórtico son convenientes para embarcaciones de tamaño medio y grande con desplazamientos entre 150 y 15000 kN.
- ◆ Las plataformas elevadoras se aplican principalmente para embarcaciones a partir de 4000 kN de desplazamiento.

- ◆ Las grúas móviles sobre neumáticos son justificables únicamente para operaciones extraordinarias o que es previsible que tengan lugar con muy poca frecuencia considerando las características de la instalación pesquera ó náutico-deportiva.

Algunos de estos equipos (puentes grúa, carretillas elevadoras frontales y carretillas pórtico) permiten no solamente la botadura o puesta en seco de la embarcación sino también su transporte hasta o desde la zona de estacionamiento. En los otros casos son necesarios equipos complementarios de transporte. Existen actualmente disponibles en el mercado remolques de transporte para embarcaciones hasta 15000 kN de desplazamiento.

Las cargas a transmitidas por estos equipos ($q_{v,26}$), los factores que influyen en las mismas, los parámetros que las definen, su distribución espacial y los criterios para la obtención de sus valores nominales o de sus valores representativos y, en su caso, sus funciones de distribución son equivalentes a las definidas para los equipos similares de manipulación de mercancías en áreas de operación y de almacenamiento. En particular, a estos efectos para los equipos fijos será de aplicación lo dispuesto en el apartado 4.6.4.2.1.1.1, correspondiente a equipos fijos y de movilidad restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación; para las grúas móviles sobre neumáticos lo dispuesto en el apartado 4.6.4.2.1.1.2 correspondiente a equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga por elevación y para las carretillas elevadoras frontales y para las carretillas pórtico lo dispuesto en el apartado 4.6.4.2.1.1.3 correspondiente a equipos auxiliares de transporte horizontal y depósito sobre neumáticos de movilidad no restringida.

Salvo en el caso de equipos fijos o de movilidad restringida, las cargas transmitidas por los equipos de manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo se considerarán normalmente sólo en los estados de proyecto representativos de los ciclos de solicitud asociados a la normal explotación de la instalación (condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de manipulación de embarcaciones), así como en los estados sísmicos y en los asociados a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario (condiciones de trabajo excepcionales), ya que en el resto de estados se considera que estos equipos se encuentran fuera de servicio y estacionados en las zonas establecidas al efecto, normalmente alejadas de la obra de atraque y amarre. Si las condiciones de explotación de la instalación no lo contemplan de este modo, estando previsto que los equipos de movilidad no restringida permanezcan en una zona de la obra de atraque y amarre en condiciones de tormenta, deberán tomarse en consideración también los estados representativos de los ciclos de solicitud asociados a condiciones de inoperatividad del equipo (condiciones de trabajo extremas, excepcionales debidas a viento extraordinario y excepcionales con el equipo fuera de servicio). Normalmente las condiciones de trabajo operativas vendrán definidas por la velocidad del viento límite que permite la realización de las operaciones de manipulación de embarcaciones con seguridad, sin perjuicio de que en determinados emplazamientos (p.e. zonas no abrigadas, parcialmente abrigadas o con fuertes corrientes) adicionalmente deba comprobarse si otro agente climático u operativo puede limitar la operatividad del equipo al producir movimientos en las embarcaciones a flote no compatibles con la realización de dichas operaciones. A falta de otros criterios, se adoptará como viento límite aquél cuya velocidad media en el intervalo (ráfaga) de 3 s a 10 m de altura sea 24 m/s. En el caso que deban definirse estados límites en condiciones de trabajo operativas considerando una variable distinta a la velocidad del viento como variable predominante, para el cálculo de las cargas transmitidas por los equipos se adoptará para la velocidad del viento el valor de compatibilidad con el valor límite de operatividad de la variable predominante. A estos efectos, únicamente se tomarán en consideración estas situaciones si la velocidad del viento compatible con las mismas no supera el valor umbral de operatividad establecido en aquéllos casos en que se considera el viento como agente predominante para la definición del estado límite de realización de las operaciones de manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo.

No se considerará la actuación simultánea de diferentes tipos de equipos de manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo, ni la actuación simultánea de varios equipos del mismo tipo, salvo que las condiciones de explotación de la instalación definan otra cosa. Las cargas transmitidas por estos equipos se considerarán compatibles con las debidas al estacionamiento y almacenamiento y al tráfico terrestre que le correspondan, tomando en consideración únicamente las limitaciones debidas a su simultaneidad física en el mismo espacio y a las condiciones de explotación establecidas para la instalación. Para cada estado de proyecto se adoptará la posición de las mismas correspondiente a la configuración del equipo y a la posición de la embarcación manipulada que produzca el efecto más desfavorable para el modo de fallo analizado.

En general, debido a las condiciones de explotación portuaria en estos casos, así como a las características de los equipos que normalmente se utilizan para la manipulación de embarcaciones en función del desplazamiento de las mismas, para la verificación de modos de fallo “globales” será suficiente considerar simultáneamente la actuación de las sobrecargas repartidas de estacionamiento y almacenamiento o de tráfico terrestre, en las zonas accesibles al tráfico rodado, con las cargas debidas a equipos o plataformas elevadoras fijas, así como las debidas a carretillas pórtico (travelift) en las zonas en las que éstas actúan canalizadas en bandas de rodadura perfectamente definidas (fosos o bañeras de botadura y varada, pantalanos paralelos,...). Para la verificación de modos de fallo “locales” deberán tomarse en consideración alternativamente las cargas concentradas transmitidas por todos los equipos de manipulación de embarcaciones considerados. A estos efectos, no se considerará la actuación simultánea de este tipo de cargas cuando corresponden a diferentes equipos o a diferentes agentes. Cuando los equipos previstos por el Promotor para la manipulación de las embarcaciones sean carretillas pórtico para buques hasta 500 kN de desplazamiento, carretillas elevadoras frontales o remolques de transporte, las cargas transmitidas por los mismos se considerarán cubiertas por las debidas al tráfico terrestre cuando éstas se consideren; es decir, en aquellas áreas abiertas o accesibles a este tipo de tráfico (Ver apartado 4.6.4.3.1 correspondiente a tráfico viario).

Es recomendable solicitar a los fabricantes las cargas transmitidas por los equipos previstos por el Promotor, diferenciando las debidas al peso propio de los equipos de las debidas a la embarcación manipulada y al viento, tomando en consideración, en su caso, las diferentes posiciones del equipo, de la embarcación manipulada y de la dirección del viento, de forma que sea posible definir los distintos valores representativos y las funciones de distribución asociadas con dichas cargas.

En ausencia de información más precisa obtenida a partir de los datos suministrados directamente por los fabricantes, podrán adoptarse como órdenes de magnitud de los valores representativos de las cargas transmitidas por equipos de manipulación de embarcaciones considerados actualmente como estándar los consignados en la tabla 4.6.4.14 para grúas móviles, en la tabla 4.6.4.17 para las carretillas elevadoras frontales y en la tabla 4.6.4.27 para las carretillas pórtico (travelifts). Para otros equipos de manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo es difícil dar órdenes de magnitud de las cargas transmitidas debido a la diversidad tipológica existente en el mercado.

Dado que las operaciones de manipulación de estas embarcaciones se realizan en zonas prefijadas por el Promotor de acuerdo con los criterios de explotación establecidos para la instalación, exigiendo en general una dotación específica de infraestructuras para estas operaciones (rampas, fosos o bañeras de botadura y varada,...), dimensionadas en función del equipo de manipulación elegido y de la flota de embarcaciones previsible, no se definen cargas mínimas debidas a equipos de manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo. A su vez, las cargas transmitidas por algunos de los equipos que permiten la manipulación de las embarcaciones más comunes en las instalaciones pesqueras, náutico-deportivas (hasta 500 kN de desplazamiento) están cubiertas por las cargas de tráfico. Lo anterior se establece sin perjuicio de aplicar con carácter general en las zonas accesibles al tráfico rodado las cargas mínimas correspondientes a equipos de movilidad no restringida con capacidad de carga y descarga del buque por elevación (Grúa móvil 100/25), definidas para usos pesqueros y náutico-deportivos (Ver apartado 4.6.4.2.1.1.2 y tabla 4.6.4.23).

El agente de uso y explotación cuyos límites de operatividad definen el modo de parada operativa correspondiente a la realización de las operaciones de manipulación de embarcaciones es el agente “Manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo ($q_{v,26}$)”. A los efectos de verificar este modo de parada operativa se definirán los valores umbral de las variables de los agentes climáticos que limitan la realización de estas operaciones, para cada una de las siguientes causas de paralización que sean relevantes en el emplazamiento, de acuerdo con lo dispuesto para las correspondientes condiciones de trabajo en este apartado:

- ◆ Paralización por razones intrínsecas de seguridad del equipo y de la operación.
- ◆ Paralización por incompatibilidad de los movimientos de las embarcaciones a flote.
- ◆ Paralización por rebases de las aguas exteriores o, en su caso, del trasdós, sobre el nivel de coronación de la obra de atraque.
- ◆ Paralización por rebases del oleaje sobre la coronación de obras de abrigo, en el caso de obras de atraque adosadas o próximas a éstas.
- ◆ Paralización por insuficiencia de alturas de elevación.

Tabla 4.6.4.27. Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por carretilla pórtico estándar para manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo (Travelift) ⁷⁾

TIPO DE CARRETILLA PÓRTICO

TAMAÑO			PEQUEÑO ¹⁾	MEDIANO ¹⁾	GRANDE ¹⁾²⁾
Capacidad de manipulación (kN)			150-1500	2000-5000	6000-10000
Máxima manga de la embarcación (m)			4,30-7,90	8,50-10,50	10,50-15,00
CARACTERÍSTICAS EQUIPO	Peso (kN)		100-750	950-2000	3000-5500
	Altura libre interior (m)		4,85-9,50	10,10-12,10	13,70-16,80
CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA	Nº ruedas por pata y eje (n)		1	2	3
	Distancia (L_1) entre ejes de banda de rodadura (m)		5,5-9,5	11,0-15,0	17,90-21,00
	Distancia (L_2) entre centros de ruedas de un mismo eje (m)		—	0,90-1,50	0,70-1,60
	Separación (L_3) entre ejes de ruedas(m)		4,4-10,4	10,5-15,0	19,50-23,50
	Forma y dimensiones (cxc) área de contacto (m x m)		3)	3)	3)
	Distancia (a) mínima entre cantil y eje de banda de rodadura (m)		0,35-0,65	0,97-1,50	1,75-3,00
MÁXIMA CARGA POR RUEDA (kN) ⁴⁾	Sin operación	Vertical	25-185	120-315	250-460
	En condiciones de operación ⁵⁾	Vertical	75-650	450-1050	850-1450
		Horizontal ⁶⁾	0,13 Vert	0,13 Vert	0,13 Vert

Notas

- 1) Los primeros valores de los rangos de variación de cada parámetro se refieren a las carretillas de menor capacidad de manipulación de las incluidas en cada grupo de tamaños. De igual forma, los valores mayores se corresponden con las carretillas de mayor capacidad de elevación de las incluidas en cada grupo de tamaños.
- 2) Existen en el mercado carretillas pórtico hasta 15000 kN de capacidad de manipulación. A partir de 10000 kN de capacidad el número de ruedas por pata y eje generalmente aumenta a 4, con el objeto de mantener las cargas por rueda en los mismos órdenes de magnitud que las carretillas de 10000 kN de capacidad de manipulación con 3 ruedas por pata y eje. También pueden existir carretillas pórtico de tamaño grande con sólo 2 ruedas por pata. En este caso bastará con hacer las correcciones oportunas para obtener las cargas máximas por rueda.
- 3) Para obtener las dimensiones del área de contacto pueden considerarse presiones del orden de 1100 kN/m².

Configuración y valores característicos de las cargas transmitidas por carretilla pórtico estándar para manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo (Travelift) 7) (continuación)

Notas

- 4) Las cargas máximas por rueda consignadas en esta tabla, así como las características y la configuración geométrica de los equipos tienen únicamente un valor indicativo de los órdenes de magnitud para cada tipo de carretilla, habiéndose obtenido del análisis de los correspondientes a diferentes fabricantes. Dependiendo del fabricante pueden variar de forma significativa, por lo que deben contrastarse con las aportadas, en su caso, por el fabricante elegido. Si esto no es posible previamente a la realización del proyecto, pueden adoptarse los valores incluidos en esta tabla, estableciéndose los mismos como valores nominales máximos que no deben superarse, consignándose en el reglamento de explotación de la instalación.
- 5) Considerando una velocidad del viento en el emplazamiento $V_{v,3s}(10\text{ m}) = 24\text{ m/s}$ ($\approx 86\text{ km/h}$) en dirección transversal a la banda de circulación en el sentido más desfavorable e incluyendo los efectos inerciales asociados al movimiento del equipo (traslación y frenada) y de la embarcación manipulada. No se tienen en cuenta los efectos debidos a los giros del equipo. En las zonas en las que se produzcan giros de estos equipos puede considerarse que las cargas transmitidas son un 30% superiores a las consignadas en la tabla. Definidas las cargas verticales en las ruedas de las patas más cargadas, las cargas sobre el resto de patas pueden obtenerse considerando que la suma de todas las cargas debe igualar a las cargas verticales actuantes (peso propio + peso de la máxima embarcación manipulada + efectos inerciales). Los efectos inerciales pueden estimarse como el 15% del peso de la embarcación manipulada. Para otra velocidad del viento las cargas pueden adaptarse de acuerdo con lo dispuesto en la cláusula 3 de la tabla 4.6.4.10.
- 6) Carga horizontal en dirección transversal a la dirección de rodadura, concordante con la dirección de actuación del viento. Definidas las cargas horizontales en las patas más cargadas, puede considerarse que sobre las otras patas actúa la misma carga horizontal. En condiciones de operación, para una velocidad del viento límite de operatividad de 24 m/s , la componente de la acción horizontal debida al viento puede aproximarse al 3% de la carga vertical sin considerar la componente vertical debida a los efectos inerciales. En condiciones de operación debe considerarse que también actúa simultáneamente una acción horizontal adicional en la dirección de la banda de rodadura, causada por los movimientos del equipo (traslación o frenada), igual al 15% de las cargas verticales. No están incluidos en este valor los efectos debidos a los giros.
- 7) Puede considerarse suficientemente aproximado adoptar como valores frecuente y cuasi-permanente de las cargas transmitidas por los equipos incluidos en esta tabla los valores reducidos de las componentes verticales que para el caso del valor frecuente serán iguales a 0,95 los correspondientes a dichos valores nominales y para el caso del valor cuasi-permanente el 0,90 de dichos valores. En ambos casos se considerará que las acciones horizontales de actuación simultánea son nulas.

El nivel de operatividad conjunto correspondiente a este modo de parada podrá obtenerse de forma equivalente a lo dispuesto a estos efectos en el apartado 4.1.1.3. Verificación de modos de parada operativa, así como en el epígrafe a_3 del apartado 4.6.4.2.1.1.1.

En general, en las instalaciones de atraque es recomendable que el nivel de coronación de las mismas se fije de forma que nominalmente no se produzca la paralización de la instalación por rebases de las aguas exteriores o por insuficiencia de alturas de elevación (Ver apartado 3.2.2.1. Nivel de coronación del atraque). De igual forma, en el caso de obras de atraque adosadas o próximas a diques es recomendable que los niveles de coronación de las obras de abrigo se proyecten de modo que la probabilidad de parada de las operaciones de manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo asociada con los rebases de oleaje a través de la coronación del dique sea nominalmente nula.

Se adoptará como variable climática predominante la velocidad del viento para la causa de paralización por razones intrínsecas de seguridad del equipo y de la operación, el nivel alto de las aguas exteriores y, en su caso, la altura de ola para la paralización por rebases y el nivel alto y bajo de las aguas por insuficiencia de las alturas de elevación. Para la paralización por incompatibilidad de movimientos de las embarcaciones a flote se adoptará la velocidad del viento, la altura de ola, el periodo del oleaje o la velocidad de la corriente.

4.6.4.2.5. FORMULACIÓN DE LAS ACCIONES DEBIDAS A LOS AGENTES DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS Y EMBARQUE Y DESEMBARQUE DE PASAJEROS ($Q_{v,2}$)

Las cargas de manipulación de mercancías y embarque y desembarque de pasajeros solicitan a las obras de atraque y amarre actuando, bien directamente sobre los elementos estructurales analizados, bien indirectamente a través de otros elementos estructurales, superestructuras o capas de reparto, así como aumentando empujes verticales y horizontales producidos por el terreno natural o los rellenos sobre los que actúan.

◆ Cargas actuando directamente sobre un elemento estructural

Cuando las cargas actúen directamente sobre un elemento estructural en el que la distancia entre la superficie de aplicación de éstas y la directriz de la estructura sea significativa, se procederá al reparto de las cargas actuantes hasta dicha superficie mediante planos trazados desde los bordes del área de contacto con pendiente 1:1 (45°), sin perjuicio de otro tipo de acciones que pudieran presentarse debido a la no coincidencia entre el punto de aplicación de las cargas y la directriz del elemento analizado. Podrán adoptarse repartos más favorables siempre que se justifiquen debidamente por medio de modelos teóricos de validez reconocida para el elemento estructural analizado.

◆ Cargas actuando indirectamente a través de otros elementos estructurales o superestructuras

Cuando actúen indirectamente a través de otros elementos estructurales con capacidad de amortiguamiento de efectos dinámicos no se tendrán en cuenta estos efectos para la definición de las cargas actuantes. En estos casos, cuando se utilicen los valores representativos de las cargas transmitidas por los diferentes equipos consignados en las tablas incluidas en esta Recomendación, los cuales incluyen amplificación dinámica y efectos inerciales, las cargas verticales deberán minorarse por medio de un coeficiente 1,2 cuando se trate de equipos fijos y de movilidad restringida, y de un coeficiente 1,15 cuando se trate de equipos de movilidad no restringida. En lo que respecta a las cargas horizontales, únicamente se tomarán en consideración las componentes horizontales debidas a la acción del viento. En resumen, la amplificación dinámica deberá tomarse en consideración para el cálculo de losas, tableros, pavimentos, vigas de apoyo de carriles de grúa, encepados..., pero no para el cálculo de pilas, pilotes o cimentaciones. Simultáneamente, cuando la transmisión de cargas se realice a través de un elemento estructural a otro (p.e. carril-tablero), para la obtención de la superficie de aplicación y la distribución de las cargas se tomarán en consideración las características físicas del apoyo entre los dos elementos y la existencia y localización de juntas de dilatación, así como la distribución de reacciones producida por la interacción entre los dos elementos estructurales en estas condiciones. Para ello se utilizarán modelos específicos de interacción estructural.

Para las cargas correspondientes a equipos de manipulación de movilidad restringida sobre carriles actuando directamente sobre placa, como regla general y en ausencia de estudios más detallados es admisible considerar que las cargas concentradas verticales se distribuyen uniformemente en sentido longitudinal.

◆ Cargas actuando indirectamente a través de capas de reparto

Cuando las cargas actúen indirectamente a través de capas de reparto de espesor mayor o igual que 1,50 m no se considerará la influencia de la componente de amplificación dinámica y la debida a los efectos inerciales. Para capas de menor espesor podrá considerarse que las componentes dinámicas e inerciales actúan en superficie con un valor reducido en función de la profundidad del elemento resistente (reducción lineal con la profundidad entre su valor en superficie y su anulación en 1,50 m). En ambos casos podrá considerarse adicionalmente que la distribución de las cargas se realiza a 30-45°, según sea más desfavorable, desde la superficie de contacto hasta alcanzar el elemento estructural.

◆ Cargas actuando indirectamente a través de rellenos

Los empujes adicionales verticales y horizontales debidos a la actuación de estas cargas a través de los rellenos pueden obtenerse de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 3.6 de la ROM 0.5-05 para las obras fijas abiertas y en el apartado 3.7 de la misma Recomendación para las obras fijas cerradas. Para esos casos tampoco se considerará la componente de las cargas debida a amplificación dinámica y efectos inerciales.

Para cada estado de proyecto, las acciones de manipulación de mercancías y de embarque y desembarque de pasajeros y de manipulación de embarcaciones pesqueras, deportivas y de recreo tendrán igual consideración que el correspondiente agente, independientemente de que éste actúe directa o indirectamente. Así mismo, los valo-

res representativos de las acciones y sus funciones de distribución pueden obtenerse o derivarse de los correspondientes a los agentes causantes por medio de las relaciones funcionales existentes entre ambos.

4.6.4.3. Tráfico terrestre ($q_{v,3}$)

El agente tráfico terrestre está asociado con las cargas transmitidas por los distintos medios de transporte terrestre convencional de mercancías, materiales o suministros utilizados para su traslado desde o hasta el exterior de la zona portuaria. Por tanto, se consideran medios de transporte terrestre convencional aquéllos que están autorizados a circular con o sin restricciones por las redes de carreteras y ferrocarriles.

Se distinguen los siguientes agentes de tráfico terrestre:

- ◆ Tráfico viario ($q_{v,31}$)
- ◆ Tráfico ferroviario ($q_{v,32}$)

4.6.4.3.1. TRÁFICO VIARIO ($q_{v,31}$)

Las cargas a tomar en consideración transmitidas por el tráfico de carretera, que comprende coches, camiones, trenes de carretera y vehículos especiales (por ejemplo, vehículos militares, de transporte industrial,...), son las equivalentes a las acciones y presiones verticales y acciones horizontales que se producen en las distintas ruedas de dichos vehículos en condiciones operativas cargadas.

La actuación de este agente se considerará limitada a las obras de atraque y amarre o a las partes de las mismas accesibles al tráfico rodado, con o sin restricciones.

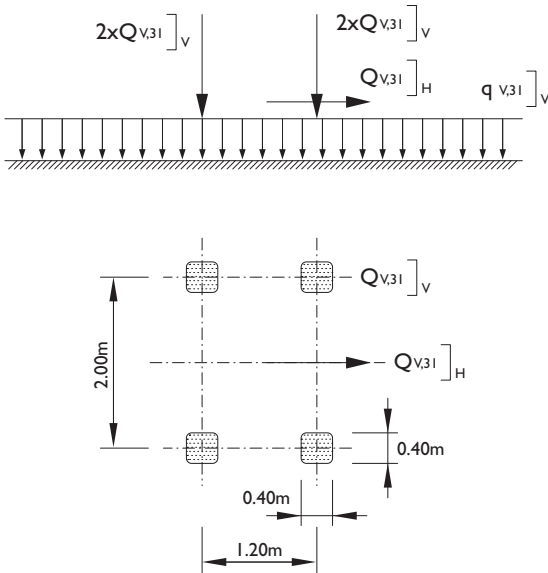
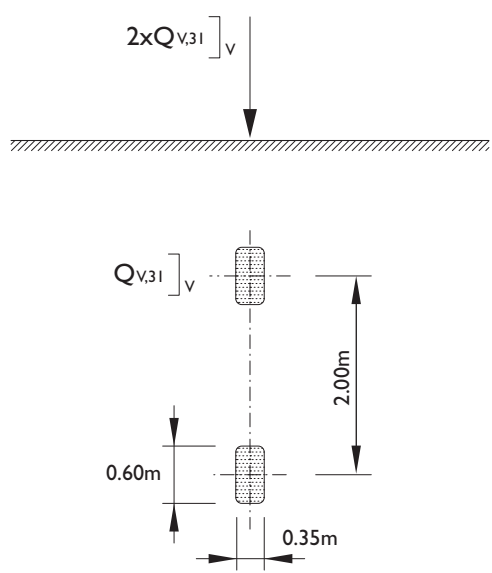
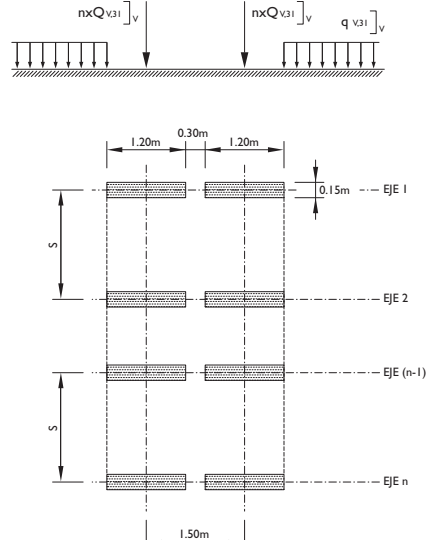
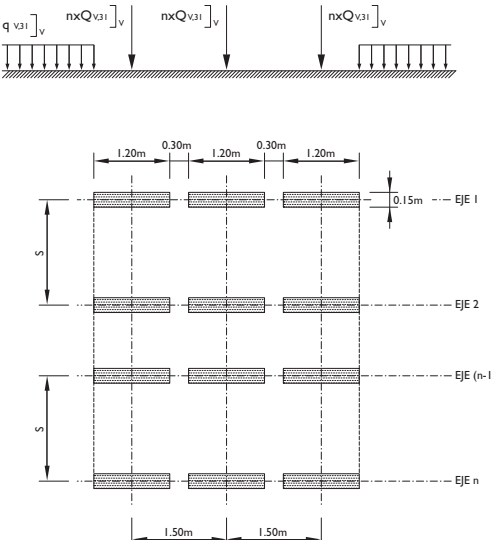
Los parámetros que definen a este agente se establecen por medio de diferentes modelos de carga teóricos normalizados, desarrollados de forma que sus efectos sean equivalentes al tráfico viario considerado. En esta Recomendación, dichos modelos se definen a partir de los establecidos para este tipo de tráfico por la normativa europea experimental vigente relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera, en particular el Eurocódigo 1. Parte 2.- “Acciones del tráfico en puentes”, ajustados de acuerdo con lo permitido por dicha normativa para adaptarlos a las diferentes características y condiciones de actuación del tráfico viario en las zonas portuarias: menor canalización, mayor porcentaje de vehículos pesados, mayor frecuencia de atascos, menor velocidad,... Los modelos de carga que definen a este agente se consiguen en la tabla 4.6.4.28.

Independientemente del modelo de carga considerado, la distribución espacial de las cargas equivalentes al tráfico viario se considerará libre, limitada, en su caso, únicamente por su compatibilidad con las condiciones de explotación establecidas para la instalación y con las condiciones de aplicación definidas para cada modelo de carga particular. En este sentido, de forma simplificada para la verificación de modos de fallo “globales” se considerará que dichas cargas no actúan simultáneamente sobre la misma área (operación, almacenamiento y accesos) con las debidas a otros agentes de uso y explotación, excepto con los equipos de manipulación de mercancías y embarque y desembarque de pasajeros fijos o que tienen movilidad restringida, así como con el tráfico ferroviario. Para la verificación de modos de fallo “locales” no se considerará la actuación simultánea de este agente con los otros agentes de uso y explotación que pueden actuar sobre el área considerada. Para cada estado de proyecto se adoptará aquel modelo de carga y aquella distribución espacial que produzca los efectos más desfavorables para el modo de fallo analizado.

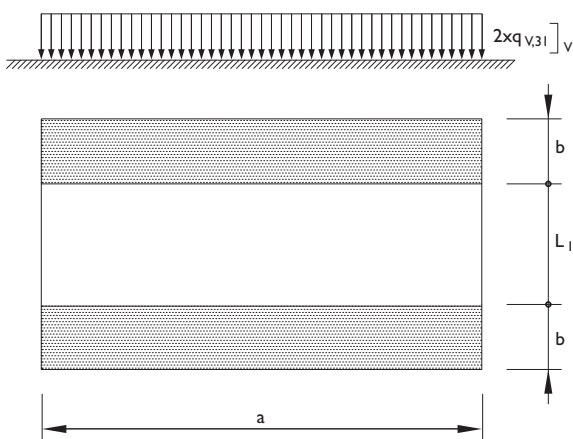
Los modelos de carga se consideran mutuamente excluyentes entre sí.

Los modelos de carga 1 y 2 cubren la mayoría de los efectos del tráfico de coches, camiones y trenes de carretera que pueden circular sin restricciones por la red de carreteras, debiéndose adoptar en todas las obras de atraque y amarre o en partes de las mismas accesibles al tráfico viario sin ningún tipo de limitación o restricción, independientemente de su uso.

Tabla 4.6.4.28. Modelos de carga teóricos normalizados equivalentes al tráfico en áreas portuarias. Configuración geométrica y valores característicos de las cargas ¹⁾

MODELO DE CARGA 1: EJE TÁNDEM + SOBRECARGA 2)					MODELO DE CARGA 2: EJE SIMPLE								
													
$Q_{v,31} _{V,k}$		150 kN 3)			$Q_{v,31} _{V,k} = 200 \text{ kN}$								
$q_{v,31} _{V,k}$		10 kN/m ²											
$Q_{v,31} _{H,k}$		$0,64 \cdot 4 \cdot Q_{v,31} _{V,k} = 360 \text{ kN}$											
MODELO DE CARGA 3: VEHÍCULOS ESPECIALES 2) 4)													
Configuración para vehículos con ejes de 150/200 kN					Configuración para vehículos con ejes de 240 kN								
													
TIPO DE VEHÍCULO ESPECIAL													
Peso total/ Carga por eje (kN)	900/150	1200/150	1500/150	1800/150	1200/200	1500/200	1800/200	2400/200	3000/200	3600/200	2400/240	3000/240	3600/240
Nº ejes (n)	6	8	10	12	6	8	9	12	15	18	10	13	15
Separación (s) ejes (m)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50 5)	1,50 6)	1,50	1,50	1,50	1,50 6)
$Q_{v,31} _{V,k}$ (kN)	75	75	75	75	100	100 7)	100	100	100	100	80	80 8)	80
$Q_{v,31} _{V,k}$ (kN/m ²) 9)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5

**Modelos de carga teóricos normalizados equivalentes al tráfico en áreas portuarias.
Configuración geométrica y valores característicos de las cargas ¹⁾ (continuación)**

MODELO DE CARGA 4: VEHÍCULOS MILITARES ESPECÍFICOS (CARROS DE COMBATE A ORUGAS) ^{2) 4)}		
		
TIPO DE CARRO DE COMBATE		
Peso total (kN)	750	1100
Dimensiones (c x c) áreas de contacto (m x m)	4,90 x 0,85	6,10 x 1,00
Separación (L_1) entre las áreas de contacto (m)	1,95	2,30
$Q_{v,31} V_k$ (kN/m ²)	90	90
Notas <ol style="list-style-type: none"> 1) Las cargas consignadas en la tabla incluyen la componente correspondiente a efectos dinámicos. 2) Además de las cargas consignadas en la tabla, correspondientes a este modelo, debe considerarse adicionalmente una sobrecarga repartida horizontal debida a los efectos sobre el tráfico viario de la acción del viento, adoptando como velocidad del mismo la correspondiente al estado meteorológico de proyecto representativo de la condición de trabajo considerada. La distribución espacial de dicha sobrecarga será la misma que la adoptada para la sobrecarga vertical. Estos efectos podrán obtenerse considerando que el viento actúa sobre una superficie virtual, obtenida adoptando una altura de 2,00 m sobre el nivel de circulación y una longitud igual a la adoptada para la componente de sobrecarga repartida vertical, independientemente de la posición de las cargas verticales concentradas. 3) Para la verificaciones de modos de fallo "globales" puede considerarse simplificada que el conjunto de cargas verticales es equivalente a una sobrecarga repartida de 30 kN/m². 4) Como se supone que los vehículos especiales se mueven a poca velocidad en áreas portuarias, no se considera ninguna componente de amplificación dinámica ni cargas horizontales de arranque o frenada. 5) Alternativamente, también puede considerarse una separación de ejes no homogénea e igual a: 5 x 1,50 m + 12 m + 5 x 1,50 m. 6) Alternativamente, también puede considerarse una separación de ejes no homogénea e igual a: 7 x 1,50 m + 12 m + 6 x 1,50 m. 7) En un eje, debe considerarse que $Q_{v,31} V$ es 50 kN. 8) En un eje, debe considerarse que $Q_{v,31} V$ es 50 kN. 9) No se considerarán las sobrecargas en el interior de la superficie envolvente que contiene las áreas de contacto de las cargas concentradas. 		

El modelo 1 se tomará en consideración tanto para la verificación de modos de fallo globales como locales. En general, no será necesario tomar en consideración este modelo para la verificación de modos de fallo globales en aquellas áreas de las obras de atraque y amarre en las que el valor característico de la sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento sea igual o superior a 40 kN/m². El modelo 2 deberá considerarse de forma aislada únicamente para la verificación de modos de fallo locales.

El modelo de carga 3 representa a los vehículos especiales más comunes que, no cumpliendo la regulación nacional sobre límites de peso y/o dimensiones, pueden estar autorizados a circular por determinadas carreteras con determinadas restricciones. Se tomará en consideración tanto para la verificación de modos de fallo globales como locales. El modelo de carga 4 representa a determinados vehículos militares específicos no cubiertos por el modelo 3, particularmente determinados carros de combate a orugas. El modelo 4 deberá tomarse en consideración de forma aislada únicamente para la verificación de modos de fallo locales. La verificación de modos de fallo globales cuando actúen este tipo de vehículos se considerará cubierta por la aplicación de la

sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento mínima establecida en esta Recomendación para las obras de atraque y amarre de uso militar (50 kN/m^2).

Igual que otros modelos de carga que puedan establecerse para casos específicos, los modelos incluidos en 3 y 4 están definidos para ser utilizados únicamente cuando lo requiera específicamente el Promotor de la instalación en función del uso de la obra de atraque y de la posibilidad de que puedan presentarse dichos vehículos. A su vez, cuando el Promotor establezca limitaciones o restricciones de paso a un determinado tipo de tráfico viario (p.e. se autorizan vehículos turismo pero no vehículos pesados) se podrán utilizar modelos específicos que respondan a dichas limitaciones. En esos casos deberán incluirse estas restricciones en las condiciones de explotación de la instalación y preverse el equipamiento adecuado (barreras,...) para que en las áreas no abiertas a todo tipo de tráfico viario quede garantizado de forma estricta el cumplimiento de las restricciones de paso establecidas. En caso contrario, serán de aplicación los modelos 1 y 2. No obstante lo anterior, en aquellas zonas en que sea físicamente posible el paso de vehículos, aunque su paso esté restringido total o parcialmente para determinado tipo de tráfico, adicionalmente al modelo específico que se establezca que responda a estas limitaciones se considerará en dichas zonas el posible tránsito de vehículos destinados a los servicios de protección contra incendios, considerando su actuación como una condición de trabajo excepcional debida a la presentación de una acción accidental. Para la comprobación de modos de fallo “globales”, el modelo de carga que representa a este tipo de tráfico se define como una acción repartida de 20 kN/m^2 dispuesta en una superficie de 3 m de ancho por 8 de largo. Para la comprobación de modos de fallo “locales” se supondrá, independientemente de la anterior, la actuación de una carga de 45 kN , actuando en una superficie cuadrada de 0,2 m de lado.

Las cargas transmitidas por el tráfico viario se considerarán únicamente en los estados de proyecto representativos de los ciclos de sollicitación asociados a la normal explotación de la instalación de atraque en todos los estados operativos (condiciones de trabajo operativas correspondientes tanto a accesibilidad marítima, como a las operaciones de atraque del buque, permanencia de los buques en el atraque y realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque de pasajeros), así como en los estados sísmicos y en los estados asociados a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario (condiciones excepcionales), ya que otro tipo de condiciones (condiciones extremas o excepcionales climáticas [condiciones de temporal]) no se consideran compatibles con este tipo de tráfico. Las cargas transmitidas por el tráfico viario en estas condiciones se considerarán cargas compuestas, obteniéndose tomando en consideración el peso propio de los vehículos y de la carga transportada, los efectos dinámicos debidos a su movimiento (frenada y arranque) y la acción del viento sobre el mismo.

En función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, las cargas transmitidas por el tráfico viario se definirán:

a) Para formulaciones determinista y determinista-probabilista

a₁) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos

- ◆ En condiciones de trabajo operativas correspondientes a cada uno de los estados límite de operatividad definidos para la instalación de atraque, las cargas equivalentes al tráfico viario podrán definirse a través de valores característicos de las distintas cargas componentes incluidos en cada modelo de carga equivalente a dicho tipo de tráfico. Dichos valores se consignan en la tabla 4.6.4.28. Para cuantificar la componente debida a la acción del viento incluida en los distintos modelos de carga se adoptará el valor representativo de la velocidad y dirección del viento correspondiente al estado meteorológico de proyecto que define cada una de estas condiciones e idéntico al adoptado para la definición de los otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea que dependen del viento.
- ◆ En condiciones de trabajo extremas y en condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación del agente climático viento de carácter extraordinario no se considerarán cargas transmitidas por el tráfico viario.
- ◆ En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea sismo o viento extraordinario, las cargas equivalentes al tráfico viario podrán definirse a través de

su valor frecuente cuando se considere que la acción del tráfico viario es el agente variable predominante y a través de su valor cuasi-permanente para el resto de los casos. Lo anterior se establece sin perjuicio de los casos en que, de acuerdo con este apartado, deba considerarse el modelo específico de tráfico viario que representa la actuación de vehículos destinados a los servicios de protección contra incendios. En este caso las cargas incluidas en dicho modelo de carga tendrán la consideración de valores característicos correspondientes a una acción accidental. Con este modelo no se considerará la actuación simultánea del viento.

- ◆ En condiciones de trabajo excepcionales o extremas debidas a la presentación de una acción sísmica, las cargas equivalentes al tráfico viario podrán definirse a través de su valor cuasi-permanente.

Para cada uno de los modelos de carga, los valores frecuente y cuasi-permanente podrá obtenerse aplicando a cada una de sus componentes los coeficientes establecidos en la tabla 4.6.4.29.

Tabla 4.6.4.29. Modelos de carga teóricos normalizados equivalentes al tráfico viario. Valores representativos de las cargas (Para la verificación de modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos)

CONDICIÓN DE TRABAJO	MODELO DE CARGA	VALOR CARACTERÍSTICO	VALOR DE COMBINACIÓN	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Operativas (CT1)	Modelo 1	$Q_{v,31 V,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.28) $Q_{v,31 H,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.28) $q_{v,31 V,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.28) Acción del viento (considerando como valor representativo de la velocidad y dirección del viento el correspondiente al estado meteorológico de proyecto que define cada una de las condiciones normales operativas de la instalación de atraque. Para su definición, ver nota 2 tabla 4.6.4.28 y tabla 4.6.2.2)			
	Modelo 2	$Q_{v,31 V,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.28)			
	Modelo 3	$Q_{v,31 V,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.28) $q_{v,31 V,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.28) Acción del viento (considerando como valor representativo de la velocidad y dirección del viento el correspondiente al estado meteorológico de proyecto que define cada una de las condiciones normales operativas de la instalación de atraque. Para su definición, ver nota 2 tabla 4.6.4.28 y tabla 4.6.2.2)			
	Modelo 4	$q_{v,31 V,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.28)			
Condiciones de Trabajo Extremas (CT2)	—	—	—	—	—
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de viento extraordinario (CT3,1)	—	—	—	—	—
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario (CT3,2) 2)3)	Modelo 1	—	—	$0,95 Q_{v,31 V,k}$ $0,00 Q_{v,31 H,k}$ $0,80 q_{v,31 V,k}$ I)	$0,80 Q_{v,31 V,k}$ $0,00 Q_{v,31 H,k}$ $0,80 q_{v,31 V,k}$ I)
	Modelo 2	—	—	$0,95 Q_{v,31 V,k}$	$0,80 Q_{v,31 V,k}$
	Modelo 3	—	—	$0,00 Q_{v,31 V,k}$ $0,00 q_{v,31 V,k}$ I)	$0,00 Q_{v,31 V,k}$ $0,00 q_{v,31 V,k}$ I)
	Modelo 4	—	—	$0,00 q_{v,31 V,k}$	$0,00 q_{v,31 V,k}$
Condiciones de Trabajo extremas o Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32)	Modelo 1	—	—	—	$0,80 Q_{v,31 V,k}$ $0,00 Q_{v,31 H,k}$ $0,80 q_{v,31 V,k}$ I)
	Modelo 2	—	—	—	$0,80 Q_{v,31 V,k}$
	Modelo 3	—	—	—	—
	Modelo 4	—	—	—	—

Modelos de carga teóricos normalizados equivalentes al tráfico viario. Valores representativos de las cargas (Para la verificación de modos de fallo adscritos a Estados Límite Últimos) (continuación)

Notas

- 1) Simplificadamente, para obtener el valor frecuente y cuasi-permanente de las cargas transmitidas por el tráfico viario es aceptable no tomar en consideración la componente debida al viento.
- 2) Se adoptará como valor representativo el valor frecuente cuando se considere el tráfico viario como agente variable predominante para el modo de fallo analizado. En el caso de que el tráfico viario no fuera el agente variable predominante se adoptará el valor cuasi-permanente.
- 3) En los casos en que deba considerarse el modelo específico de tráfico viario que representa la actuación de vehículos destinados a los vehículos destinados a los servicios de protección contra incendios, las cargas incluidas en dicho modelo tendrán la consideración de valores característicos correspondientes a una acción accidental.

a₂) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable para dicha verificación en cada condición de trabajo sea la combinación poco probable o fundamental se utilizarán asimismo los valores representativos consignados en la tabla 4.6.4.29.

Para la verificación de estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable sea la combinación frecuente o cuasi-permanente se adoptarán como valores representativos de las cargas equivalentes al tráfico viario los valores frecuentes o cuasi-permanentes definidos en esa tabla para condiciones de trabajo excepcionales.

a₃) Para la verificación de modos de parada operativa

Para valorar la operatividad de la instalación no se considerarán modos de parada operativa asociadas al agente tráfico viario.

b) Para formulaciones probabilistas

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación correspondientes a los ciclos de sollicitación asociados a condiciones de trabajo operativas es admisible considerar que las cargas incluidas en los modelos teóricos normalizados equivalentes al tráfico viario se corresponden con valores nominales de los límites operativos establecidos por criterios de explotación para dicho tipo de tráfico y, por tanto, simplificadamente, carentes de incertidumbre estadística durante dicho ciclo. Las funciones de distribución de las componentes horizontales debidas al viento incluida en los modelos 1 y 3 podrán obtenerse como funciones derivadas de las funciones de distribución de la velocidad del viento en dichas condiciones de trabajo (régimenes medios anuales truncados con el valor límite de operatividad del mismo o funciones de distribución condicionadas al valor de otro agente que determina las condiciones operativas, en el caso de que el viento sea dependiente de éste, truncadas asimismo por el valor límite de operatividad del viento en las condiciones de trabajo operativas consideradas.

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación correspondientes a otros ciclos de sollicitación en los que se considere la actuación de dicho agente (condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario o condiciones extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica) puede considerarse que las cargas verticales incluidas en los modelos 1 y 2 responden a una función de distribución normal de media el 80% del valor característico y coeficiente de variación de 0,15. En estos ciclos de sollicitación no se considerará la actuación de las componentes horizontales incluidas en dichos modelos. Así mismo, en la verificación de estos ciclos de sollicitación no se considerará la actuación de los modelos 3 y 4.

4.6.4.3.2. TRÁFICO FERROVIARIO ($q_{v,32}$)

Las cargas transmitidas por el tráfico ferroviario son las equivalentes a las acciones verticales y horizontales que se producen en las distintas ruedas de los vehículos y equipos ferroviarios.

La actuación de este agente se considerará limitada a aquellos usos y áreas en los que esté previsto por el Promotor la actuación de tráficos ferroviarios, en función de las condiciones de utilización y criterios de explotación establecidos para la instalación, así como de la organización del sistema ferroviario en el puerto. En este caso, el Promotor definirá la o las plataformas de vías o zonas en las que pueden actuar los tráficos ferroviarios. Las plataformas de vías quedarán expresamente reflejadas y delimitadas en el proyecto.

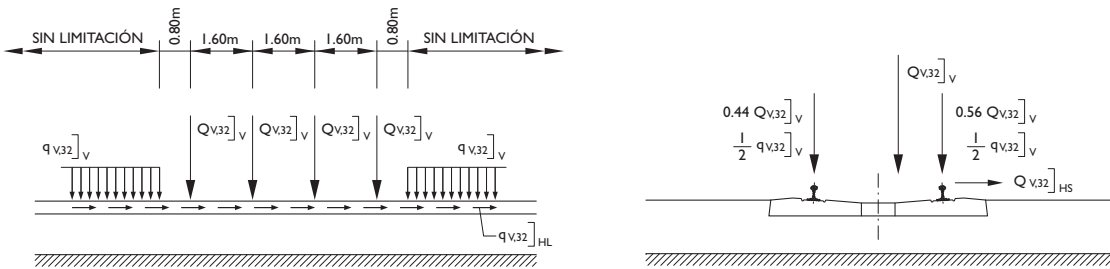
La tendencia actual en la organización y explotación de las operaciones ferroviarias en el ámbito portuario, asociados con una progresiva automatización de los procesos de carga y descarga del buque, de entrega-recepción y de ordenación-control de mercancías, así como de consolidación-desconsolidación y de expedición-recepción de trenes, con el objetivo de alcanzar una mayor productividad en dichas operaciones, es establecer terminales ferroviarias de carga y descarga localizadas en el lado tierra de las áreas de almacenamiento asociadas a las obras de atraque y, por tanto alejadas de las áreas de operación, conjuntamente con terminales ferroviarias de apoyo, dedicadas fundamentalmente a la expedición-recepción de trenes, situadas en las proximidades del puerto pero generalmente fuera de su zona de servicio. Por dicha razón, salvo que el Promotor de la instalación lo indique expresamente no se considerará la actuación de tráficos ferroviarios en el área de operación de las obras de atraque y amarre.

Los parámetros que definen a este agente se establecen por medio de un modelo de carga teórico normalizado, desarrollado de forma que sus efectos sean equivalentes al tráfico ferroviario normal de mercancías, en las condiciones de operación de las áreas portuarias. En esta Recomendación, dicho modelo se define a partir de los establecidos en la Instrucción española sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril (IAPF-07), así como en la normativa europea experimental vigente relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril, en particular el Eurocódigo 1. Parte 2.- “Acciones del tráfico en puentes”, ajustado de acuerdo con lo permitido por dicha normativa para adaptarlo a las diferentes características y condiciones de actuación del tráfico ferroviario en las zonas portuarias: trenes exclusivamente de mercancías, simultaneidad habitual de trenes en vías múltiples, velocidades de circulación reducidas con frecuentes frenadas y arranques, vagones sujetos a impactos importantes durante los procesos de carga y descarga, desnivelaciones usuales de los carriles debido a la multiplicidad de utilización de la plataforma, imperfecciones de las ruedas de los vagones de carga, trazados con giros de pequeños radio, funciones de distribución de las cargas más estrechas, ... El modelo de carga que define a este agente se consigna en la tabla 4.6.4.30, aplicable para tráficos normales de mercancías tanto con vías de ancho estándar europeo o UIC (1.435 m) y grandes anchos ⁽⁵⁰⁾ como con vías de ancho métrico, sin más que variar el coeficiente multiplicador a definido para cada ancho de vía. Para otro tipo de tráficos ferroviarios, como líneas de tráfico más ligero que el normal o, por el contrario, tráficos especiales más pesados, el proyectista a solicitud del Promotor podrá establecer modelos específicos (como por ejemplo el tren SW/2 del Eurocódigo 1. Parte 2) y definir sus condiciones de aplicación, sin perjuicio de que, a falta de otros datos y del lado de la seguridad, para los tráficos más ligeros también puedan aplicarse los modelos anteriores.

La distribución espacial de las cargas equivalentes al tráfico ferroviario se considerará libre en la plataforma de vías definida por el Promotor, limitada, en su caso, únicamente por su compatibilidad con las condiciones de explotación establecidas para la obra de atraque y particularmente con los equipos e instalaciones de manipulación de mercancías, así como con las condiciones de aplicación definidas para el modelo de carga en particular, y por la separación mínima entre vías y entre éstas y los equipos de manipulación establecida por condiciones de seguridad. La separación entre ejes de vías no debe ser en ningún caso menor de 3,50 m, aunque se recomienda que no sea menor de 4,00 m. Los ejes de las vías se situarán en las posiciones más desfavorables para el modo de fallo analizado, compatibles con lo dispuesto en el párrafo siguiente.

(50) 1.668 m en España y Portugal.
1.600 m en Irlanda.
1.520 m en Finlandia y Rusia.

Tabla 4.6.4.30. Modelo de carga teórico normalizado equivalente al tráfico ferroviario en áreas portuarias. Configuración geométrica y valores característicos de las cargas

MODELO DE CARGA UIC 71 1) 2) 3)		
<div></div>		
$Q_{v,32]V,k}$	$\alpha \cdot 250 \text{ kN } ^4)$	$\alpha = 1,21$ para vías de ancho UIC o gran ancho $\alpha = 0,91$ para vías de ancho métrico
$q_{v,32]V,k}$	$\alpha \cdot 80 \text{ kN/m } ^4)$	
$Q_{v,32]HS,k} \text{ } ^5)$	100 kN	
$Q_{v,32]HL,k} \text{ } ^6)$	Más favorable – Frenado [$\alpha \cdot 20 \text{ (kN/m)}$, repartida en una longitud $L \text{ (m)}$] – Arranque [$\alpha \cdot 33 \text{ (kN/m)}$, repartida en una longitud $L' \text{ (m)}$] L y L' se definen según las notas 7) y 8)	
Notas 1) Modelo de carga definido a partir del incluido en la instrucción española IAPF-07, equivalente al modelo de carga UIC71 del Eurocódigo I. Parte 2. Acciones del tráfico en puentes. 2) Los trenes de carga representan la circulación por una vía. Para las cargas verticales se aplicará la mitad de la carga a cada carril. No obstante, en el caso de las cargas verticales concentradas ($Q_{v,32]V}$) puede considerarse un reparto 0,44/0,56 debido a la excentricidad causada por efecto del desplazamiento lateral de las cargas verticales. No obstante lo anterior, para la verificación de modos de fallo “globales” es admisible la aplicación de todas las cargas en el eje de la vía. Las cargas incluidas en este modelo o la parte de ellas en extensión y posición que producen un efecto favorable no deben tomarse en consideración. Para una playa con más de dos vías múltiples se adoptará como valor característico de las cargas en cada vía el que produzca los efectos más desfavorables considerando en todas las vías un valor de las cargas verticales correspondiente a 0.75 los consignados en la tabla o el valor de la tabla aplicado únicamente en dos vías. En ambos casos se considerarán las acciones horizontales desfavorables de actuación simultánea compatibles con las cargas verticales adoptadas (Ver nota 5 para la fuerza de lazo y nota 6 para las fuerzas de frenado o arranque). 3) Adicionalmente a las cargas incluidas en este modelo deben tomarse en consideración los efectos de las acciones climáticas actuando sobre este tipo de tráfico en los distintos estados de proyecto representativos de los distintos ciclos de solicitud, de acuerdo con lo dispuesto en esta Recomendación. 4) Las cargas verticales consignadas en la tabla no incluyen la amplificación por efectos dinámicos, la cual debe considerarse cuando actúan directa o indirectamente sobre un elemento estructural. Considerando las características y condiciones de actuación de los tráficos ferroportuarios: velocidades de circulación reducidas, menor mantenimiento de las vías, plataforma con usos múltiples sin balasto, ..., así como las características estructurales usuales de las tipologías de las obras de atraque y amarre en la que sus efectos son significativos (particularmente en las obras de atraque fijas abiertas de pilas o pilotes), simplificada puede adoptarse para valorar estos efectos con carácter general un coeficiente de mayoración de 1.40. En otros casos o cuando se desee una mayor precisión en la valoración de estos efectos, el coeficiente de mayoración de efectos dinámicos puede obtenerse de acuerdo con la metodología definida en el apartado B2 de la Instrucción IAPF-07. 5) Fuerza de lazo. Se asimila a una carga horizontal concentrada que se aplica en la parte superior de un carril, perpendicularmente al eje de la vía, tanto en tramos rectos como curvos, y sentido hacia el exterior de la vía. La fuerza de lazo se aplicará en la posición que resulte más desfavorable para el modo de fallo considerado. Su actuación será simultánea con las cargas verticales. En el caso de vías múltiples se considerará una única fuerza de lazo en la vía más desfavorable para el modo de fallo analizado. Dadas las reducidas velocidades de circulación de los trenes en las áreas portuarias se pueden despreciar otras fuerzas horizontales transversales al eje de la vía como las fuerzas centrífugas en tramos curvos. 6) Fuerzas de frenado y arranque. Se asimilan a fuerzas horizontales, paralelas a la vía, repartidas uniformemente a lo largo de una determinada longitud, y aplicadas al nivel del plano medio de rodadura. Su actuación será simultánea con las cargas verticales, extendida por lo menos en las mismas zonas que éstas. En el caso de vías múltiples, se considerará la actuación simultánea únicamente de un frenado y de un arranque en dos cualquiera de ellas, elegidas de forma que sea más desfavorable para el modo de fallo analizado. 7) L es la longitud en la que se supone repartida la fuerza de frenado. Puede tomarse igual a la longitud de la vía sobre la estructura resistente analizada, siempre que se permita la dilatación del carril en ambos extremos de la obra de atraque. En casos de carril continuo en un o ambos extremos o de juntas intermedias deberán hacerse estudios específicos de interacción vía-estructura para determinar la longitud a considerar. En ningún caso dicha longitud superará 300 m. 8) L' es la longitud en la que se supone repartida la fuerza de arranque. Puede tomarse igual a la longitud de la vía sobre la estructura resistente analizada, siempre que se permita la dilatación del carril en ambos extremos de la obra de atraque. En casos de carril continuo en un o ambos extremos o de juntas intermedias deberán hacerse estudios específicos de interacción vía-estructura para determinar la longitud a considerar. En ningún caso dicha longitud superará 30 m.		

En la plataforma de vías definida por el Promotor se considerará el mayor número de vías geométrica y estructuralmente posibles en el espacio interior. A estos efectos, el espacio entre vías se tomará homogéneo, respetando el espacio mínimo admisible entre ejes de vías y considerando que entre el eje de vías y, en su caso, el de la banda de rodadura de los equipos de manipulación de mercancías de movilidad restringida paralela a las vías que actúen simultáneamente en dicha zona debe mantenerse un espacio mínimo de 3,00 m, aunque se recomienda también que sea de 4,00 m. Para cada estado de proyecto se adoptará la distribución espacial en posición y, en su caso, extensión que produzca los efectos más desfavorables para el modo de fallo analizado.

Las cargas debidas al tráfico ferroviario podrán aplicarse conjuntamente con las otras sobrecargas de uso y explotación de actuación simultánea en la misma área (operación, almacenamiento y accesos), aunque no superponiéndose en la banda de circulación del ferrocarril. A estos efectos se considerará como banda de circulación del ferrocarril la zona limitada por líneas paralelas a los carriles, situadas a ambos lados de una o varias vías y a 3,50 m del eje de las extremas. No se considerarán como vías múltiples aquellas cuya separación entre ejes supere 6,00 m. No será necesaria la consideración de este agente para la verificación de modos de fallo “globales” en aquellas áreas en las que la sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento de actuación simultánea considerada en el emplazamiento sea igual o mayor a 50 kN/m^2 . Para la verificación de modos de fallo “locales” no se considerará la actuación simultánea de este agente con los otros agentes de uso y explotación que puedan actuar sobre el área considerada.

Las cargas de tráfico ferroviario se tomarán en consideración tanto en los estados de proyecto representativos de los ciclos de solicitud asociados a la normal explotación de la instalación de atraque (condiciones de trabajo operativas) como en los estados de proyecto representativos de los ciclos de solicitud asociados a la inoperatividad de la misma (condiciones de trabajo extremas) o a los ciclos de solicitud asociados a la presentación de un agente extraordinario o insólito (condiciones de trabajo excepcionales). En condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de viento extraordinario se considerará la presencia de tráficos ferroviarios en las obras de atraque y amarre con igual criterio que el adoptado para los equipos de manipulación de movilidad restringida en dichas condiciones; es decir, admitiendo que en esos estados no se producen procesos de carga y descarga ni movimientos en los tráficos ferroviarios y, por tanto, no existen efectos dinámicos ni componentes horizontales (fuerzas de frenado y arranque, de lazo, ...). Por el contrario, en condiciones de trabajo excepcionales debidas a la actuación de una acción accidental o en condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica se considerará que el tráfico ferroviario puede estar en situación de total operatividad.

Las cargas transmitidas por el tráfico ferroviario se considerarán cargas compuestas, habiéndose definido el modelo de cargas normalizado equivalente tomando en consideración el peso de los vehículos y de la carga transportada, así como las acciones horizontales debidas a su movimiento (frenada y arranque, lazo) y otros efectos dinámicos. Adicionalmente deben tomarse en consideración los efectos debidos a las acciones climáticas actuando sobre este tipo de tráfico en los estados de proyecto representativos de los distintos ciclos de solicitud a lo que está sometida la instalación de atraque y amarre, particularmente la acción del viento.

En función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, las cargas transmitidas por el tráfico viario se definirán:

a) Para formulaciones determinista y determinista-probabilista

a₁) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos

- ◆ En condiciones de trabajo operativas correspondientes a cada uno de los estados límites de operatividad definidos para la instalación de atraque, las cargas equivalentes a este tipo de tráfico podrán definirse a través de los valores característicos de las distintas cargas componentes del modelo de carga consignado en la tabla 4.6.4.30, considerando que actúa adicionalmente una componente debida a la acción del viento.

Para cuantificar la componente debida a la acción del viento compatible con el modelo de carga normalizado equivalente al tráfico ferroviario se adoptará el valor representativo de la velocidad

y dirección del viento correspondiente al estado meteorológico de proyecto que define las condiciones de trabajo operativas consideradas (accesibilidad marítima, operaciones de atraque de buques, permanencia de buque en el atraque y realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque de pasajeros) e idéntico al adoptado para la definición de otros agentes de uso y explotación de actuación simultánea que dependen del viento. Los efectos de la acción del viento sobre el tráfico ferroviario podrán obtenerse considerando que el viento actúa sobre una superficie virtual, obtenida adoptando una altura de 4,00 m para anchos UCI y grandes anchos y 3,70 m para ancho métrico a partir del nivel de la vía de rodadura y la longitud en la dirección de circulación más desfavorable, independientemente de la posición de las cargas verticales.

- ◆ *En condiciones de trabajo extremas*, se considera que los trenes están parados en cualquier ubicación de la obra de atraque y sin que se realice ningún tipo de operación en ellos. En esta situación las cargas transmitidas por el tráfico ferroviario podrán definirse a través de los valores característicos únicamente de las cargas verticales incluidas en el modelo de carga consignado en la tabla 4.6.4.30, sin considerar la amplificación por efectos dinámicos, más los efectos del viento sobre el mismo actuando la velocidad de viento representativa del estado climático en condiciones extremas en el emplazamiento y en la dirección adoptada (Ver apartado 4.6.2.1). Para probabilidades de ocurrencia del modo de fallo en estas condiciones de trabajo menores del 5 %, dichos valores son los correspondientes a un periodo de retorno de 50 años si el viento es el agente climático predominante para el modo de fallo considerado (Ver ROM 0.4). En el caso de que el viento no sea el agente climático predominante en el modo de fallo analizado y pueda considerarse independiente del predominante se adoptará como valor representativo el valor de combinación de la velocidad del viento ($T_R = 5$ años, con las consideraciones señaladas para el caso de variables direccionales). En los otros casos, ver tabla 4.6.2.2.
- ◆ *En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de viento de carácter extraordinario*, se considera que los trenes están parados en cualquier ubicación de la obra de atraque y sin que se realice ningún tipo de operación en ellos. En esta situación, las cargas equivalentes al tráfico ferroviario podrán definirse a través del valor frecuente de las componentes verticales del modelo de carga, cuando se considere que la acción del tráfico ferroviario es el agente variable predominante para el modo de fallo analizado, y a través del valor cuasi-permanente de las mismas cargas para el resto de los casos, más los efectos del viento extraordinario sobre el mismo en la dirección adoptada. En ambos casos no se considerará ni la amplificación de las cargas verticales por efectos dinámicos ni las acciones horizontales incluidas en el modelo de carga por estar en una situación no operativa. Los valores frecuentes y cuasi-permanentes de las cargas ferroviarias incluidas en el modelo asociadas a estas condiciones se definen en la tabla 4.6.4.31. Para probabilidades de fallo menores del 5 %, el viento extraordinario está asociado con los valores de la velocidad del viento correspondientes a un periodo de retorno de 500 años (Ver tabla 4.6.2.2).
- ◆ *En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea sismo o viento extraordinario*, se considera que el ferrocarril puede estar tanto en condiciones operativas como parado sin que se realice ningún tipo de operación en él. No obstante, dadas las condiciones de aplicación del modelo de cargas, del lado de la seguridad se considerará que en esta situación el ferrocarril se encuentra en situación operativa. En este caso las cargas equivalentes al tráfico ferroviario se definirán a través del valor frecuente de las componentes del modelo de carga, cuando se considere que la acción del tráfico ferroviario es el agente variable predominante para el modo de fallo analizado, y a través del valor cuasi-permanente para el resto de los casos. En ambos casos se considerará la amplificación de las cargas verticales por efectos dinámicos al estar en situación operativa. Para el valor cuasi-permanente no se considerarán las acciones horizontales incluidas en el modelo de carga. Cuando se aplique el valor frecuente y cuasi-permanente de las cargas transmitidas por el tráfico ferroviario, simplificadaamente es aceptable no tomar en consideración la componente debida al viento. Los valores frecuentes y cuasi-permanentes de las cargas ferroviarias incluidas en el modelo asociadas a estas condiciones se definen en la tabla 4.6.4.31.

- ◆ En condiciones de trabajo extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica, se considera que el ferrocarril puede estar tanto en condiciones operativas como no operativas. No obstante, dadas las condiciones de aplicación del modelo de cargas, del lado de la seguridad se considerará que en esta situación el ferrocarril se encuentra en situación operativa.

En esta situación, las cargas equivalentes al tráfico ferroviario se definirán a través del valor cuasi-permanente de las componentes del modelo de carga, considerándose la amplificación de las cargas verticales por efectos dinámicos al estar en situación operativa, pero no se considerarán las componentes horizontales incluidas en el modelo de carga ni la componente debida al viento. Los valores cuasi-permanentes de las cargas ferroviarias incluidas en el modelo asociadas a estas condiciones se definen en la tabla 4.6.4.31.

El resumen de los valores representativos de las cargas transmitidas por el tráfico ferroviario se incluye en la tabla 4.6.4.31.

Tabla 4.6.4.31. Modelos de carga teóricos normalizados equivalentes al tráfico ferroviario en áreas portuarias. Valores representativos de las cargas (Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos con probabilidades de fallo menores que 5% en la correspondiente condición de trabajo)

CONDICIÓN DE TRABAJO	MODELO DE CARGA	VALOR CARACTERÍSTICO	VALOR DE COMBINACIÓN	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Operativas (CT1)	Modelo UIC 71	$Q_{v,32} _{V,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.30) ¹⁾ $q_{v,32} _{V,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.30) ¹⁾ $Q_{v,32} _{Hs,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.30) $q_{v,32} _{HL,k}$ (valor definido en Tabla 4.6.4.30) Acción del viento (considerando como valor representativo de la velocidad y dirección del viento el correspondiente al estado meteorológico de proyecto que define cada una de las condiciones operativas de la instalación de atraque. Para su definición, ver tabla 4.6.2.2)			
Condiciones de Trabajo Extremas (CT2) ^{4) 5)}	Modelo UIC 71	$Q_{v,32} _{V,k}$ ³⁾ $q_{v,32} _{V,k}$ ³⁾ Acción del viento (considerando que actúa la velocidad del viento correspondiente a $T_R = 50$ años) ²⁾	$Q_{v,32} _{V,k}$ ³⁾ $q_{v,32} _{V,k}$ ³⁾ Acción del viento (considerando que actúa la velocidad del viento correspondiente a $T_R = 50$ años, con las consideraciones señaladas para el caso de variables direccionales) ²⁾	—	—
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de viento extraordinario (CT3,1) ⁶⁾	Modelo UIC 71	—	—	$0,95 \cdot Q_{v,32} _{V,k}$ ³⁾ $0,95 \cdot q_{v,32} _{V,k}$ ³⁾ Acción del viento (considerando que actúa la velocidad del viento correspondiente a $T_R = 500$ años) ²⁾	$0,80 \cdot Q_{v,32} _{V,k}$ ³⁾ $0,80 \cdot q_{v,32} _{V,k}$ ³⁾ Acción del viento (considerando que actúa la velocidad del viento correspondiente a $T_R = 500$ años) ²⁾
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea sismo o viento extraordinario (CT3,2) ⁶⁾	Modelo UIC 71	—	—	$0,95 \cdot Q_{v,32} _{V,k}$ ¹⁾ $0,95 \cdot q_{v,32} _{V,k}$ ¹⁾ $0,95 \cdot Q_{v,32} _{Hs,k}$ $0,95 \cdot Q_{v,32} _{HL,k}$ ⁷⁾	$0,80 \cdot Q_{v,32} _{V,k}$ ¹⁾ $0,80 \cdot q_{v,32} _{V,k}$ ¹⁾ ⁷⁾
Condiciones de Trabajo Extremas o Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32)	Modelo UIC 71	—	—	—	$0,80 \cdot Q_{v,32} _{V,k}$ ¹⁾ $0,80 \cdot q_{v,32} _{V,k}$ ¹⁾ ⁷⁾

Modelos de carga teóricos normalizados equivalentes al tráfico ferroviario en áreas portuarias. Valores representativos de las cargas (Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite últimos con probabilidades de fallo menores que 5% en la correspondiente condición de trabajo) (continuación)

Notas

- 1) Considerando la amplificación de cargas verticales por efectos dinámicos.
- 2) Los efectos de la acción del viento sobre el tráfico ferroviario podrán obtenerse considerando que el viento actúa sobre una superficie virtual obtenida adoptando una altura de 4,00 m para ancho UCI y grandes anchos y 3,70 m para ancho métrico a partir del nivel de la vía de rodadura y la longitud en la dirección de circulación más desfavorable, independientemente de la posición de las cargas verticales.
- 3) No considerando la amplificación de cargas verticales por efectos dinámicos (por situación no operativa del ferrocarril).
- 4) Se adoptará como valor representativo el valor característico cuando el viento sea el agente climático predominante para el modo de fallo analizado. En el caso de que el viento no fuera el agente climático predominante, pero independiente de éste, se adoptará el valor de combinación. En otros casos, ver tabla 4.6.2.2.
- 5) Para probabilidades de fallo mayores del 5%, el valor característico en condiciones extremas será el obtenido considerando una velocidad del viento cuya probabilidad de excedencia en la fase de proyecto analizada sea igual a la probabilidad de fallo considerada.
- 6) Se adoptará como valor representativo el valor frecuente cuando el tráfico ferroviario sea el agente variable predominante para el modo de fallo analizado. En el caso de que el tráfico ferroviario no sea el agente variable predominante se adoptará el valor cuasi-permanente.
- 7) Simplificadamente, para obtener el valor frecuente y cuasi-permanente de las cargas transmitidas por el tráfico ferroviario en estas condiciones es aceptable no tomar en consideración la componente debida al viento.

a₂) Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio

Para la verificación de modos de fallo adscritos a estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable para dicha verificación en cada condición de trabajo sea la combinación poco probable o fundamental se utilizarán asimismo los valores representativos consignados en la tabla 4.6.4.3 I. Para la verificación de estados límite de servicio en los que el tipo de combinación de acciones aplicable sea la combinación frecuente o cuasi-permanente se adoptarán como valores representativos de las cargas equivalentes al tráfico ferroviario los valores frecuentes o cuasi-permanentes definidos en esa tabla para condiciones excepcionales.

a₃) Para la verificación de modos de parada operativa

Para valorar la operatividad de la instalación no se considerarán modos de parada operativa asociadas al agente tráfico ferroviario.

b) Para formulaciones probabilistas

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación correspondiente a los ciclos de solici-tación asociados a condiciones de trabajo operativas es admisible considerar que las cargas incluidas en los modelos teóricos normalizados equivalentes al tráfico ferroviario en áreas portuarias se correspon-den con valores nominales de los límites operativos establecidos por criterios de explotación para dicho tipo de tráfico y, por tanto, simplifcadamente, carentes de incertidumbre estadística durante dicho ciclo. Las funciones de distribución de las componentes horizontales debidas al viento incluida en el modelo podrán obtenerse como funciones derivadas de las funciones de distribución de la velocidad del viento en dichas condiciones de trabajo (régimenes medios anuales truncados con el valor límite de operati-vidad del mismo o funciones de distribución condicionadas al valor de otro agente que determina las con-diciones operativas, en el caso de que el viento sea dependiente de éste, truncadas asimismo por el valor límite de operatividad del viento en las condiciones de trabajo operativas consideradas.

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación correspondientes a otros ciclos de solici-tación en los que se considere la actuación del agente tráfico ferroviario en situación operativa (condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental y extremas o excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica) puede considerarse que cada una de las cargas componentes incluidas en el modelo responden a funciones de distribución normal de media el 80% del valor característico y coeficiente de variación de 0,15, y que cada una de estas variables son

independientes entre sí. Las componentes verticales quedarán afectadas por el coeficiente de amplificación por efectos dinámicos. En los ciclos de sollicitación con tren no operativo (condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de viento extraordinario) puede considerarse que las cargas componentes verticales incluidas en los modelos responden a funciones de distribución normal de coeficiente de variación de 0,15 y de media el 80% del valor característico recogido en el modelo, sin considerar la amplificación debida a efectos dinámicos. En los ciclos de sollicitación con tren no operativo no se considerará la actuación de las componentes horizontales incluidas en dichos modelos. En estos casos, la función de distribución de la componente debida al viento se puede definir como función de distribución derivada de la función de distribución marginal de la variable velocidad del viento en el emplazamiento correspondiente a condiciones extremas o medias según el ciclo de sollicitación analizado, siempre que el viento sea el agente climático predominante o sea independiente del predominante en dicho ciclo (En los otros casos, ver apartado 4.6.2.1).

4.6.4.3.3. FORMULACIÓN DE LAS ACCIONES DEBIDAS A LOS AGENTES DE TRÁFICO TERRESTRE ($Q_{v,3}$)

Las cargas debidas al tráfico terrestre solicitan a las obras de atraque y amarre actuando, bien directamente sobre los elementos estructurales analizados, bien indirectamente a través de otros elementos estructurales, superestructuras o capas de reparto, así como aumentando empujes verticales y horizontales producidos por el terreno natural o los rellenos sobre los que actúan.

◆ Cargas actuando directamente sobre un elemento estructural

Cuando las cargas actúen directamente sobre un elemento estructural serán de aplicación los criterios establecidos para estos casos en el apartado 4.6.4.2.5 correspondiente a las acciones debidas a los agentes de manipulación de mercancías y embarque y desembarque de pasajeros.

◆ Cargas actuando indirectamente a través de otros elementos estructurales o superestructuras

Cuando actúen indirectamente a través de otros elementos estructurales con capacidad de amortiguamiento de efectos dinámicos no se tendrán en cuenta estos efectos para la definición de las cargas actuantes (por ejemplo, en pilas, pilotes o cimentaciones). En estos casos, cuando se utilicen los valores representativos de las cargas incluidos en los modelos normalizados correspondientes a tráfico viario consignados en esta Recomendación, los cuales incluyen amplificación dinámica, las cargas tanto verticales como horizontales deberán minorarse por medio de un coeficiente 1,20 cuando se consideren tanto en los estados de proyecto representativos de los ciclos de operatividad, como en los estados sísmicos y en los estados asociados a la presentación de una acción accidental que no sea viento extraordinario. Por el contrario, en el modelo normalizado correspondiente a tráfico ferroviario consignado en esta Recomendación, los valores característicos de las cargas debidas a este agente no llevan incorporada la valoración de efectos dinámicos, por lo que en estos casos las cargas verticales no deberán multiplicarse por el coeficiente de amplificación por efectos dinámicos. Simultáneamente, cuando la transmisión de cargas se realice a través de un elemento estructural a otro (p.e. carril-tablero), para la obtención de las superficies de aplicación y la distribución de las cargas se tomarán en consideración las características físicas del apoyo entre los dos elementos y la existencia y localización de juntas de dilatación, así como la distribución de reacciones producida por la interacción entre los dos elementos estructurales en esas condiciones. Para ello deberán utilizarse modelos específicos de interacción estructural. Para las cargas correspondientes a tráfico ferroviario actuando a través del carril directamente sobre placa, como regla general y en ausencia de estudios más detallados es admisible considerar que las cargas concentradas verticales por eje incluidas en el modelo de carga se distribuyen uniformemente en sentido longitudinal.

◆ Cargas actuando indirectamente a través de capas de reparto

Cuando las cargas actúen indirectamente a través de capas de reparto de espesor mayor o igual que 1,50 m no se considerará la influencia de las componentes de amplificación dinámica ni las debidas a los efec-

tos inerciales (frenado y arranque, lazo, ...). Para capas de menor espesor podrá considerarse que las componentes dinámicas e inerciales actúan en superficie con un valor reducido en función de la profundidad del elemento resistente (reducción lineal con la profundidad entre su valor en superficie y su anulación en 1,50 m). En ambos casos, podrá considerarse adicionalmente que la distribución de cargas se realiza a 30°-45° desde la superficie de contacto hasta alcanzar el elemento estructural, según sea más desfavorable. No obstante lo anterior, la distribución de las cargas de tráfico ferroviario a través de traviesas apoyadas en balasto se realizará con pendientes 4 (vertical): 1 (horizontal).

◆ **Cargas actuando indirectamente a través de rellenos**

Los empujes adicionales verticales y horizontales debidos a la actuación de estas cargas a través de los rellenos pueden obtenerse de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 3.6 de la ROM 0.5-05 para las obras fijas abiertas y en el apartado 3.7 de la misma Recomendación para las obras fijas cerradas. Para estos casos tampoco se considerarán las componentes de las cargas debidas a la amplificación dinámica y efectos inerciales. En este caso, en ausencia de cálculos más precisos, simplificadaamente la carga vertical equivalente al tráfico ferroviario en la plataforma bajo la vía puede considerarse uniformemente distribuida en un ancho de 3,00 m a un nivel de 0,70 m por debajo de la superficie de rodadura de la vía, sin aplicar efectos dinámicos.

Para cada estado de proyecto, las acciones causadas por el tráfico terrestre tendrán igual consideración que el correspondiente agente, independientemente de que éste actúe directa o indirectamente. Así mismo, los valores representativos de las acciones y sus funciones de distribución pueden obtenerse o derivarse de los correspondientes a los agentes causantes por medio de las relaciones existentes entre ambos.

4.6.4.4. Operaciones de los buques ($q_{v,4}$)

El agente operaciones de los buques está asociado con las acciones debidas directa o indirectamente al buque cuando está navegando, cuando realiza las maniobras necesarias para atracar y/o amarrar en un puesto de atraque o viceversa, o cuando permanece en el puesto de atraque en condiciones adecuadas para su seguridad y la de otros buques y para que puedan desarrollarse con eficiencia las operaciones portuarias de carga, descarga, estiba, desestiba y trasbordo de mercancías y vehículos o de embarque y desembarque de pasajeros de acuerdo con los sistemas de manipulación adoptados.

En las obras de atraque y amarre se diferencian los siguientes agentes de operaciones de buques:

- ◆ Efectos hidrodinámicos inducidos por los buques en tránsito ($q_{v,41}$).
- ◆ Acciones de atraque ($q_{v,42}$).
- ◆ Impacto accidental de buque durante las operaciones de atraque ($q_{v,43}$).
- ◆ Corrientes generadas por las hélices y otros equipos de propulsión y maniobra de los buques ($q_{v,44}$).
- ◆ Acciones debidas a los portalones del buque ($q_{v,45}$).
- ◆ Acciones de amarre ($q_{v,46}$).

Los principales factores que intervienen en la definición y caracterización de estos agentes son:

- ◆ El tamaño, composición y características de la flota previsible de buques en el atraque, así como en las dársenas y canales adyacentes al mismo.
- ◆ La configuración geométrica y morfológica del atraque y de las dársenas y canales adyacentes.
- ◆ Las condiciones y criterios de explotación de la instalación portuaria.
- ◆ Las condiciones de aproximación de los buques al puesto de atraque y amarre, así como los medios y dotaciones utilizados para facilitar la maniobrabilidad de los mismos (sistemas de propulsión, hélices transversales, disponibilidad de remolcadores, ...).
- ◆ La naturaleza, configuración y características del sistema de atraque y amarre, incluyendo la existencia y compatibilidad con diversos tipos de equipamientos y sistemas de atraque y amarre como defensas, líneas de amarre, boyas de amarre,

- ◆ Los agentes del medio físico en el emplazamiento, particularmente el viento, las oscilaciones del mar, las corrientes y los niveles de las aguas exteriores, así como las condiciones límite de operación que se establezcan para ellos en cada una de las condiciones de trabajo operativas.

4.6.4.4.1. DEFINICIÓN DE LA FLOTA DE BUQUES EN EL ATRAQUE. BUQUES DE PROYECTO

El tamaño, composición y características de la flota previsible de buques, tanto en el atraque como en las áreas portuarias adyacentes al mismo, durante el intervalo de tiempo considerado constituyen el principal factor que interviene en la definición y caracterización de los agentes de operaciones de buques, así como en el dimensionamiento de la obra de atraque en planta y alzado (Ver apartado 3.2). Sin olvidar su influencia en el establecimiento de las condiciones de utilización de la instalación y en la definición de los equipos, medios y criterios de explotación de la misma, los cuales intervienen en la definición de otros factores de uso y explotación, particularmente los asociados con la manipulación de mercancías y con el embarque y desembarque de pasajeros.

Los parámetros representativos que permiten caracterizar al buque son:

- ◆ Tipología del buque en relación con el tipo y forma de presentación de la mercancía o pasajero transportados (petrolero, gasero, granelero, portacontenedores, ro-ro, transportador de coches, ferry, crucero, pesquero,).
- ◆ Parámetros geométricos (eslora, calado, manga, puntal, francobordo, dimensiones de los portalones, ...).
- ◆ Parámetros relacionados con la capacidad y/o la situación de carga (Tonelaje de peso muerto, desplazamiento máximo o a plena carga, tonelaje de registro bruto, desplazamiento en lastre, capacidad de carga de los portalones, ...).
- ◆ Características de maniobrabilidad y de operatividad náutica durante las operaciones de atraque y desatraque.
- ◆ Velocidad máxima de servicio en el área de navegación considerada.

La definición de los parámetros geométricos y los de capacidad y/o de situación de carga, así como las relaciones usuales entre los mismos para cada tipología de buque, se incluyen en la tabla 4.6.4.32.

Las características de maniobrabilidad náutica de los buques durante las operaciones de atraque y desatraque se incluyen en el apartado 4.6.4.4.5. Efectos debidos a las hélices y otros equipos de propulsión de los buques.

Los aspectos asociados con la velocidad de servicio en el área de navegación considerada se incluyen en el apartado 4.6.4.4.2. Efectos hidrodinámicos inducidos por el buque navegando.

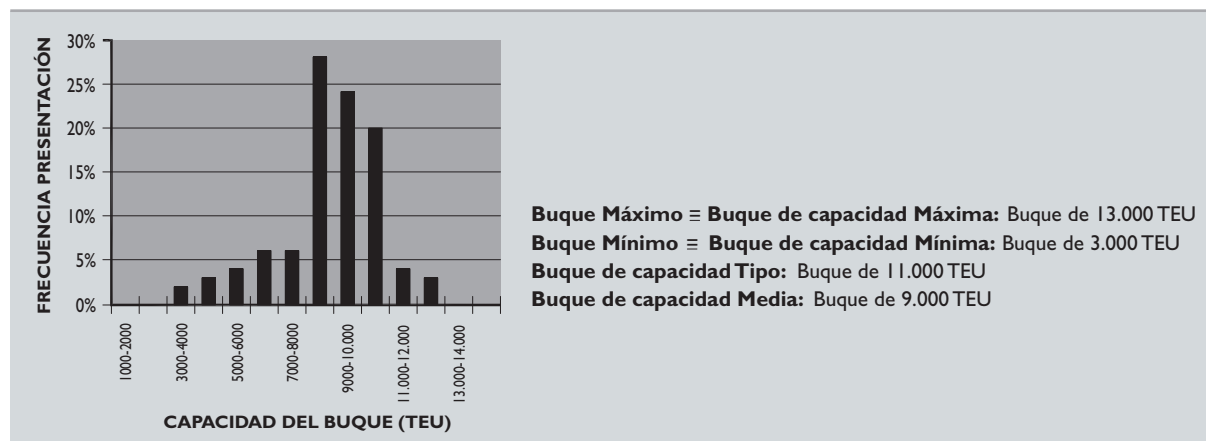
La composición y características de la flota prevista de buques en la obra de atraque o en el tramo de la misma considerado será definida por el Promotor por medio de las funciones de densidad y de distribución conjunta de los parámetros representativos de los buques que se esperan en el atraque, en las situaciones de carga en la que puedan presentarse, que sean relevantes para la determinación de los agentes y acciones a considerar, así como para los dimensionamientos y verificaciones en los intervengan el buque. Estas funciones relacionan los diversos conjuntos de valores de los parámetros representativos del buque considerados con la probabilidad de que dichos valores se presenten en el intervalo de tiempo considerado (en general, el año medio). A estos efectos deberá también considerarse como parámetro representativo la tipología del buque.

En el caso de que los buques que componen la flota prevista en el atraque no estén nominalmente identificados, pero estén identificados por sus tipologías y por un único parámetro representativo de los mismos (p.e. desplazamiento a plena carga, eslora total o calado máximo) y, por tanto, no sea posible conocer la función de densidad conjunta de todos los parámetros representativos, la definición de la flota esperada de buques podrá realizarse simplificada por medio de las funciones de densidad y de distribución bivariadas de dicho parámetro y de la tipología de los buques. En el caso de que la flota de buques sea homogénea a efectos de tipología, la definición de la flota prevista de buques se realizará por medio

de las funciones de densidad y distribución marginales del parámetro representativo considerado (Ver ejemplo figura 4.6.4.4bis) ⁽⁵¹⁾. En estos casos, el resto de los parámetros representativos de cada uno de los buques, incluida la situación de carga, podrán considerarse correlacionados con dicho parámetro adoptado como principal. Estas correlaciones podrán definirse por medio de las funciones de distribución del parámetro correlacionado, condicionadas a cada valor del parámetro principal, a la tipología del buque y a las situaciones de carga del mismo en las que pueda encontrarse en el atraque, considerando para su obtención todos los buques existentes en el mercado de cada tipología que operan en la zona geográfica ⁽⁵²⁾. Dichas funciones de distribución podrán utilizarse en las formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación. En los casos en los que el Promotor de la instalación no establezca las situaciones de carga límite del buque en el atraque se considerará que puede encontrarse tanto en situación de plena carga como en lastre ⁽⁵³⁾.

Para formulaciones deterministas o semiprobabilistas, a cada uno de los buques de la flota prevista en el atraque se les asignarán como otros parámetros representativos los correspondientes a un cuantil del 85% o del 15% en las citadas funciones de distribución de las variables correlacionadas condicionadas al valor del parámetro principal y a la tipología del buque, dependiendo de que sean más desfavorables los valores superiores o los inferiores de las variables correlacionadas para el modo de fallo analizado. En un mismo buque podrán combinarse valores de los parámetros representativos correspondientes a ambos cuantiles, siempre y cuando el coeficiente de bloque resultante se mantenga en el intervalo 90-110% referido a los rangos de los valores medios usuales de dicho coeficiente en los buques de su tipología (Ver órdenes de magnitud de los valores medios de los coeficientes de bloque en la tabla 4.6.4.32).

Figura 4.6.4.4.bis Definición de la composición y características de la flota esperada de buques en la obra de atraque y amarre en un intervalo de tiempo determinado por medio de la función de densidad del parámetro representativo: capacidad de carga del buque. Ejemplo del atraque de una terminal de contenedores



(51) En general, estas funciones de distribución no serán funciones continuas sino funciones discontinuas, obtenidas a partir de la realización de un histograma, adoptando distintos rangos de valores del parámetro representativo considerado correspondientes a los buques que es esperable que lleguen al puesto de atraque en el intervalo de tiempo considerado. En el caso de que se utilicen funciones continuas, éstas deben ser truncadas, ya que no tiene sentido que un buque pueda tener dimensiones infinitas, nulas o negativas.

(52) Cuando, de forma no conveniente, las tipologías de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque no estén expresamente identificadas por el Promotor, las funciones de distribución del resto de parámetros representativos condicionadas a cada valor del parámetro adoptado como principal se podrían obtener de forma equivalente considerando todos los buques que operan en la zona geográfica sin diferenciar tipologías. No obstante, esto puede dar lugar fácilmente a la generación de buques teóricos que no son representativos de la realidad, con coeficientes de bloque fuera de todo rango. Por dicha razón, en estos casos es preferible considerar que la flota esperable en el atraque es homogénea tipológicamente, adoptando a estos efectos como tipología de la flota la más probable para los usos esperables para la instalación de atraque dadas las condiciones del emplazamiento.

(53) Función de distribución uniforme discreta. Es decir, $f(\text{buque a plena carga}) = f(\text{buque en lastre}) = 0,5$.

Tabla 4.6.4.32. Definición de los parámetros representativos geométricos de capacidad y de situación de carga del buque y relaciones entre los mismos ¹⁾

A. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS	
Eslora total (L)	Longitud máxima del casco del buque medida de proa a popa.
Eslora entre perpendiculares (L_{pp})	Distancia medida sobre el plano de crujía entre la perpendicular de proa (línea vertical trazada por la intersección de la flotación, en la condición de máxima carga, en agua salada y en verano, y el canto de proa) y la perpendicular de popa (línea vertical trazada por la intersección de la flotación, en la condición de máxima carga, en agua salada y en verano, y el vano de codaste).
Manga (B)	Mayor anchura del buque.
Calado estático (D_e)	Distancia vertical máxima entre un punto del casco sumergido del buque y la línea de flotación, en una determinada condición de carga, en agua salada y en verano. Suele medirse en el punto medio de la eslora entre perpendiculares bajo la quilla o tomarse la media entre los calados a proa y popa. El calado máximo se corresponde con la condición de máxima carga permitida. El calado mínimo en condiciones de navegabilidad se corresponde con la condición en lastre. En otras situaciones de los buques (p.e. condición en rosca) pueden presentarse calados menores (p.e. en astillero), aunque en estas condiciones el buque no puede navegar.
Puntal (T)	Altura máxima del casco del buque desde la quilla hasta la cubierta principal.
Francobordo (G)	Distancia vertical medida desde la línea de flotación hasta la cubierta principal del buque, en una determinada condición de carga, en agua salada y en verano. El francobordo mínimo se corresponde con la condición de máxima carga. El francobordo máximo en condiciones de navegabilidad se corresponde con la condición en lastre. En otras situaciones de los buques pueden presentarse mayores francobordos (p.e. situación en rosca), aunque en estas condiciones los buques no pueden navegar ($G = T - D_e$).
Longitud del tramo recto del casco del buque (PBL: Parallel Body Length)	Longitud horizontal del tramo plano y vertical del casco del buque por encima de la línea de flotación, en una determinada situación de carga, en agua salada y en verano.
Área transversal emergida ($A_{T,emer}$)	Área de la proyección del buque sobre un plano vertical perpendicular al eje longitudinal del mismo por encima de la línea de flotación, en una determinada condición de carga, en agua salada y en verano, incluyendo todos sus elementos pero no las mercancías sobre cubierta. El área transversal emergida mínima se corresponde con la condición de máxima carga y el área máxima en condiciones de navegabilidad se corresponde con la condición en lastre. En otras situaciones de los buques (p.e. situación en rosca) pueden presentarse mayores áreas transversales emergidas, aunque en estas condiciones los buques no pueden navegar.
Área longitudinal emergida ($A_{L,emer}$)	Área de la proyección longitudinal del buque sobre el plano de crujía del mismo por encima de la línea de flotación, en una determinada condición de carga, en agua salada y en verano, incluyendo todos sus elementos pero no las cargas sobre cubierta. El área longitudinal emergida mínima se corresponde con la condición de máxima carga y el área máxima en condiciones de navegabilidad se corresponde con la condición en lastre. En otras situaciones de los buques (p.e. situación en rosca) pueden presentarse mayores áreas longitudinales emergidas, aunque en estas condiciones los buques no pueden navegar.

Definición de los parámetros representativos geométricos de capacidad y de situación de carga del buque y relaciones entre los mismos ¹⁾ (continuación)

Area transversal sumergida ($A_{T, \text{sumer}}$)	Área de la proyección del buque sobre un plano vertical perpendicular al eje longitudinal del mismo por debajo de la línea de flotación, en una determinada condición de carga, en agua salada y en verano. El área transversal sumergida máxima se corresponde con la condición de máxima carga y el área mínima en condiciones de navegabilidad se corresponde con la condición en lastre. En otras situaciones de los buques (p.e. situación en rosca) pueden presentarse menores áreas transversales sumergidas, aunque en estas condiciones los buques no pueden navegar.
Area longitudinal sumergida ($A_{L, \text{sumer}}$)	Área de la proyección longitudinal del buque sobre el plano de crujía del mismo por debajo de la línea de flotación, en una determinada condición de carga, en agua salada y en verano. El área longitudinal sumergida máxima se corresponde con la condición de máxima carga y el área mínima en condiciones de navegabilidad se corresponde con la condición en lastre. En otras situaciones de los buques (p.e. situación en rosca) pueden presentarse menores áreas longitudinales sumergidas, aunque en estas condiciones los buques no pueden navegar.
Otros	Trimado estático: diferencia entre el calado estático en proa y en popa, en una determinada condición de carga, en agua salada y en verano.
	Distancia entre el centro geométrico del buque y el centro de tomas en buques tanque.
	Radio de curvatura del casco del buque en planta en la zona de proa.
	Longitud y anchura de la rampa o portalón, así como altura del eje de giro del portalón (charnela) sobre el plano de flotación en una determinada condición de carga, en agua salada y en verano (en buques ferry o ro-ro).
B. PARÁMETROS RELACIONADOS CON LA CAPACIDAD O SITUACIÓN DE CARGA	
Tonelaje de Peso Muerto (TPM) ²⁾	Peso en toneladas métricas correspondiente a la carga útil máxima más el combustible, aceite lubricante, agua, pañoles, tripulación y pertrechos.
Desplazamiento en rosca (Δ_{rosca})	Peso total del buque, equivalente al peso del volumen de agua desalojado, según sale del astillero. Puede determinarse como la diferencia entre el desplazamiento a plena carga (Δ_{PC}) y el Tonelaje de Peso Muerto (TPM) y suele corresponder a un 15% - 25% del desplazamiento a plena carga. En estas condiciones el buque no puede navegar.
Desplazamiento en lastre (Δ_{lastre})	Peso del buque incluyendo pertrechos, tripulación, provisiones combustible y agua. El buque no lleva carga pero sí el mínimo peso de lastre para que el buque pueda navegar y maniobrar con seguridad. Se corresponde aproximadamente con el Desplazamiento en rosca (Δ_{rosca}) más un 20%-40% del Tonelaje de Peso Muerto (TPM) o con el 30%-50% del desplazamiento a plena carga (Δ_{PC}), salvo en buques de crucero que puede ser del orden del 80%.
Desplazamiento máximo o a plena carga (Δ_{PC})	Peso total del buque cargado con la máxima carga permitida.
Coefficiente de bloque (C_b)	<p>Cociente entre el desplazamiento de buque en una determinada condición de carga (Δ), expresado en peso, y el producto de $L_{1f} \cdot B_{1f} \cdot D_{1f} \cdot \gamma_w$, siendo L_{1f}, B_{1f}, y D_{1f} la eslora, la manga y el calado del buque a la altura de la línea de flotación en la condición de carga considerada y γ_w el peso específico del agua. Es decir, $C_b = \Delta / (L_{1f} \cdot B_{1f} \cdot D_{1f} \cdot \gamma_w)$.</p> <p>Puede considerarse que en cualquier condición de carga el coeficiente de bloque de un buque de formas muy llenas ($PBL > 0,50 \cdot L_{pp}$) permanece constante. Para otros tipos de buques puede suponerse que el coeficiente de bloque se mantiene constante para cualquier condición de carga comprendida entre el 60% y el 100% de la plena carga y puede tener decrementos de hasta el 10% del valor anterior para condiciones de carga inferiores al 60% de la plena carga. Por dicha razón esta formulación puede utilizarse para obtener las relaciones entre el desplazamiento y el calado del buque en condiciones de carga parcial conocido u obtenido el Coeficiente de Bloque.</p> <p>El coeficiente de bloque a plena carga suele variar entre 0,50 a 0,90 para buques marítimos, entre 0,80 y 0,90 para barcasas de navegación interior; entre 0,30 a 0,50 para buques de guerra y entre 0,30 y 0,60 para pesqueros. Valores más concretos de los órdenes de magnitud del coeficiente de bloque para buques marítimos, en función de la tipología del buque son:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Petroleros y quimiqueros: 0,75-0,90 – Gaseros: 0,55-0,80 – Graneleros: 0,70-0,85 – Mercantes de carga general: 0,55-0,85 – Portacontenedores: 0,60-0,75 – Transportadores de coches: 0,55-0,70 – Ro-ro: 0,55-0,80 – Ferries convencionales: 0,55-0,65 – Ferries rápidos: 0,40-0,50 – Cruceros: 0,55-0,75

Definición de los parámetros representativos geométricos de capacidad y de situación de carga del buque y relaciones entre los mismos ¹⁾ (continuación)

Arqueo Bruto (GT) ²⁾	Volumen o capacidad interior total de todos los espacios cerrados del buque, determinado con las disposiciones del Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques de 1969 de la OMI.
Tonelaje de Registro Bruto (TRB) ²⁾	Volumen o capacidad interior de un buque medio en toneladas de registro. La tonelada Moorson equivale a 100 pies ³ ; es decir, a 2,83 m ³ .
Otros	Algunas tipologías de buques utilizan otros parámetros de capacidad de carga. Así es el caso de los buques metaneros (LNG) y transportadores de gases licuados (LPG) que se designan por su capacidad de carga en m ³ , los portacontenedores que se designan por su capacidad en unidades TEU (Número de contenedores tipo equivalentes de 20'), los transportadores de coches por su capacidad en unidades RT (car units) o unidades CEU (número de coches tipo equivalentes), los ro-ro y ferries por su capacidad en metros lineales de carga o número de plataformas y los cruceros por el número de pasajeros. No pueden establecerse relaciones generalizables entre estos parámetros y cualquiera de los parámetros de capacidad contemplados en las otras celdas de la tabla (TPM, Δ_{PC} , GT y TRB).

Notas

- 1) Las relaciones entre los distintos parámetros representativos de la capacidad de carga del buque dependen de múltiples factores (tipo de buque, dimensiones, tipo de carga y su distribución, etc.) por lo que no es fácil establecer expresiones adecuadas. No obstante y a falta de datos más precisos, para valores medios podrán aproximarse mediante las expresiones siguientes:

$$\Delta_{PC} = \gamma_{TPM} \cdot TPM = \gamma_{GT} \cdot GT = \gamma_{TRB} \cdot TRB$$

Los coeficientes γ pueden obtenerse de la tabla siguiente:

	γ_{TPM}	γ_{GT}	γ_{TRB}
PETROLEROS PARA CRUDO	1,10-1,50	2,10-2,40	1,80
TRANSPORTADORES PRODUCTOS PETROLÍFEROS Y QUÍMICOS	1,30-1,60	2,40-2,80	1,80
METANEROS (LNG)	1,40-1,60	1,10-1,20	0,85
TRANSPORTADORES DE GASES LICUADOS (LPG)	1,60-1,80	1,60-2,50	0,85
GRANELEROS Y POLIVALENTES	1,00-1,40	2,10-2,40	2,00
MERCANTES DE CARGA GENERAL	1,40-1,70	2,50-3,00	1,40-2,00
PORTACONTENEDORES (mayores que tipo PANAMAX)	1,20-1,40	1,40-1,60	1,20
PORTACONTENEDORES (hasta tipo PANAMAX)	1,40-1,60	1,60-1,80	1,20
TRANSPORTADORES DE COCHES	1,60-1,90	0,60-0,70	0,80
RO-RO	1,60-2,40	0,90-1,40	0,80
FERRIES CONVENCIONALES	1,00-1,20	1,50-1,80	0,80-1,00
BUQUES DE PASAJEROS	—	0,70-1,20	0,80-1,00
CRUCEROS	4,5-5,5	0,45-0,60	0,60-1,20
PESQUEROS DE BAJURA	—	1,10-1,40	2,00-2,50
PESQUEROS DE ALTURA	—	0,95-1,10	1,20-2,00

(*) Los valores más altos en los rangos de coeficientes γ se aplicarán a los buques de menor desplazamiento del tipo definido.

- 2) El TPM suele utilizarse como parámetro de referencia de la capacidad de carga del buque especialmente para los buques cuya principal finalidad es transportar cargas que ocupan todo el espacio disponible (petroleros, graneleros, carga general y polivalentes,...), mientras que el GT o el TRB es más indicado para buques que transportan cargas que no ocupan todo el espacio disponible y en los que su capacidad de carga está mejor identificada por un volumen que por un peso (ferries, buques de pasaje, cruceros, pesqueros ...).

A falta de datos más precisos, si el parámetro principal considerado es el parámetro de referencia de la capacidad de carga de los buques (TPM, TEU, GT o TRB en función de la tipología del buque) o la eslora del buque en el caso de embarcaciones deportivas o de recreo, los valores de algunos otros parámetros asociados al cuantil del 85% pueden obtenerse para cada tipología de buque en la tabla 4.6.4.33, siempre que se considere como población todos los buques existentes en el mercado correspondientes a dicha tipología. En las mismas condiciones, los valores asociados al cuantil del 15% podrán aproximarse con carácter general multiplicando por 0,80 los consignados en la citada tabla y los asociados con el cuantil del 50% (valores medios) multiplicándolos por

0,90. Para aquellas correlaciones no contempladas en dicha tabla podrán utilizarse las relaciones aproximadas entre parámetros recogidas en la tabla 4.6.4.32, las cuales se consideran aplicables a valores medios.

Para este tipo de formulaciones, la flota de buque esperada en el atraque podrá definirse simplificada por medio de los siguientes buques de proyecto, para cada tipología diferenciada de buques perteneciente a dicha flota, obtenidos a partir de la función de distribución del parámetro representativo que se ha adoptado como principal para caracterizar la flota de buques esperable en el atraque:

BUQUE MÁXIMO (Asociado a una determinada tipología)	BUQUE MÍNIMO (Asociado a una determinada tipología)
Buque de la tipología considerada con mayor magnitud del parámetro representativo adoptado como principal ⁽⁵⁴⁾	Buque de la tipología considerada con menor magnitud del parámetro representativo adoptado como principal ⁽⁵⁵⁾

A los buques máximo y mínimo se les asignarán como otros parámetros representativos los correspondientes al cuantil del 85% o del 15% en la funciones de distribución de las variables correlacionadas condicionadas al valor del parámetro principal, a la tipología del buque considerada y a las situaciones de carga del mismo, de acuerdo con lo dispuesto en este apartado para las formulaciones deterministas o semiprobabilistas.

Complementariamente, para cada uno de los parámetros representativos de los buques (eslora, calado, manga, ...), se definirán los siguientes buques de proyecto que caracterizan a la totalidad de la flota esperada en el atraque respecto de dicho parámetro, con independencia de la existencia o no de tipologías diferenciadas en los buques pertenecientes a la misma:

BUQUE DE ... MÁXIMO ⁽⁵⁶⁾ (Asociado a un determinado parámetro representativo)	BUQUE DE ... MÍNIMO (Asociado a un determinado parámetro representativo)	BUQUE DE ... TIPO (Asociado a un determinado parámetro representativo)	BUQUE DE ... MEDIO (Asociado a un determinado parámetro representativo)
Buque de la flota con mayor magnitud del parámetro representativo considerado	Buque de la flota con menor magnitud del parámetro representativo considerado	Buque de la flota cuya magnitud del parámetro representativo considerado es excedido por el 15% de las llegadas	Buque de la flota cuya magnitud del parámetro representativo considerado es excedido por el 50% de las llegadas

Si el Promotor no está en condiciones de precisar de forma fiable, completa y suficiente la composición y características de la flota de buques esperable en la instalación portuaria en la fase de proyecto considerada, de forma que permita su caracterización mediante funciones de distribución de alguno de sus parámetros representativos, deberá definir, en cualquier caso, como mínimo los buques de proyecto consignados en las tablas anteriores a partir del parámetro representativo del mismo que se adopte como principal. Los buques máximos y mínimos así definidos se considerarán como límites de explotación superiores e inferiores, debiéndose consignar en el reglamento de explotación de la instalación. Es decir, que la instalación portuaria quedará restringida a buques de dimensiones o características de carga acotadas entre los límites establecidos ⁽⁵⁶⁾.

(54) Dado que las funciones de distribución de los parámetros representativos de la flota de buques esperables en el atraque son funciones discontinuas, los valores característicos maximales y minimales del parámetro representativo del buque de proyecto no se corresponden respectivamente con los cuantiles del 95% y del 5% de la función de distribución que normalmente se utilizan para definir los valores característicos, adoptándose en este caso los valores máximos y mínimos.

(55) Ejemplo de buques de proyecto asociados con el parámetro representativo "eslora": Buque de eslora máxima, buque de eslora mínima, buque de eslora tipo y buque de eslora media.

(56) En función del proceso de verificación considerado pueden ser relevantes los buques máximos o los mínimos. Los buques máximos pueden ser generalmente relevantes para la definición de la instalación de atraque en planta y alzado, para la consideración de los equipos de carga y descarga del buque adecuados y, generalmente aunque no siempre, para la determinación de las acciones debidas a las operaciones del buque, entre otros. No obstante, para la definición de algunos aspectos como la distancia mínima entre defensas o entre puntos de amarre son relevantes los buques mínimos.

En el caso de que el Promotor definiera por cualquier circunstancia únicamente un único buque de proyecto se considerará que el buque máximo, mínimo, el tipo y el medio son idénticos a dicho buque (composición homogénea de la flota de buques). Si definiera únicamente el buque máximo y el mínimo se considerará que el buque tipo y el medio coinciden con el máximo o el mínimo en función de cual es el más desfavorable para el proceso de verificación considerado.

En estos casos, como norma general para la definición de los agentes de operaciones de buques se recomienda la caracterización de los buques de proyecto a partir de la adopción de parámetro de referencia de la capacidad de carga para cada tipología de buque (TPM, TEU, GT, TRB) como parámetro principal representativo del buque, o de la eslora (L) en el caso de las embarcaciones deportivas y de recreo, derivándose a partir de éste el resto de parámetros representativos, tomando en consideración la tipología del buque fijada por el Promotor o, en el caso que no la definiera, la más compatible con el uso establecido para la obra de atraque. Tal como se ha señalado con carácter general, se adoptarán como valores representativos del resto de parámetros los correspondientes a un cuantil del 85% (o del 15% en el caso de que sea más desfavorable) de la función de distribución de la variable correlacionada condicionada al valor del parámetro principal y a la tipología del buque considerada. A falta de datos más precisos (p.e. utilizando los datos más actualizados del Lloyd's Maritime Information Services), para algunos buques característicos estos valores pueden obtenerse por medio de la tabla 4.6.4.33 de esta Recomendación o a partir de la tabla 3.1 de la ROM 3.1-99. En estas tablas se recogen con carácter general las correlaciones existentes entre el parámetro de referencia de la capacidad de carga del tipo de buque (columna más a la izquierda de la tabla) y algunos otros parámetros representativos del buque, considerando todos los buques existentes en el mercado correspondientes a dicha tipología. Para aquellas correlaciones no contempladas en dicha tabla podrán utilizarse igualmente las relaciones aproximadas entre parámetros recogidas en la tabla 4.6.4.31, tomando en consideración que son de validez para valores medios.

4.6.4.4.2. EFECTOS HIDRODINÁMICOS INDUCIDOS POR LOS BUQUES EN TRÁNSITO ($q_{v,41}$)

Los principales efectos hidrodinámicos inducidos por los buques en tránsito que pueden afectar a las obras de atraque y amarre son las corrientes de retorno, los descensos de los niveles de las aguas y las ondas generados por el movimiento de los buques en tránsito en las proximidades de dichas obras o que al propagarse alcanzan a las mismas. En definitiva las diversas componentes de agitación de las aguas inducidas por los buques en tránsito.

Al igual que las corrientes y el oleaje considerados como agente climático (Ver apartado 4.6.2.1), estas corrientes, variaciones de los niveles de las aguas y oleajes considerados como agentes operativos pueden tener efectos directos sobre las obras de atraque y amarre ejerciendo fuerzas o modificando los empujes sobre las estructuras, banquetas y mantos de protección, así como produciendo arrastres, socavaciones y otras erosiones externas, o indirectos a través del buque amarrado o del buque durante las operaciones de atraque, por lo que deben tomarse en consideración en los procesos de verificación tanto de los modos de fallo como de los modos de parada operativa. Algunos de estos efectos pueden tener una incidencia significativa e incluso ser agentes predominantes particularmente en las obras de atraque situadas en las proximidades de canales de acceso y otras vías de navegación en áreas interiores o abrigadas frente a las oscilaciones del mar; las corrientes y otros agentes del medio físico, particularmente en las que no esté limitada la velocidad de navegación de los buques por condiciones o normas de explotación.

Otro de los efectos producidos por el paso de un buque navegando en las proximidades de un buque amarrado o de un buque durante las operaciones de atraque es la generación de fuerzas horizontales de succión y rechazo entre el buque en tránsito y el amarrado o en fase de atraque causadas principalmente por las asimetrías del flujo de agua que se producen alrededor del casco del buque en tránsito y, por tanto, por la alteración de presiones sobre el casco de ambos buques.

La magnitud de estos efectos depende del tipo de buque en tránsito (principalmente de la forma del casco), de sus características geométricas y de capacidad de carga, de las características de la navegación (proporcional a la velocidad relativa del buque con respecto al agua y a la excentricidad de la posición del mismo en la vía de navegación), así como de las dimensiones y geometría del área de navegación (inversamente proporcional a sus dimensiones). En el caso de los efectos de succión y rechazo dependen adicionalmente de las características geométricas y de capacidad de carga del buque amarrado o en fase de atraque, así como de la separación entre éste y el buque en tránsito.

Tabla 4.6.4.33. Parámetros representativos de los buques en función de su tipología y capacidad de carga ¹⁾

TIPO DE BUQUE	CLASE		TMP	Δ_{PC} (t)	L (m)	L _{pp} (m)	B (m)	T (m)
PETROLEROS Y TRANSPORTADORES DE PRODUCTOS PETROLÍFEROS Y QUÍMICOS (Tankers)	SUPERTANKERS 2)		500.000	650.000	456	431	80,3	36,5
			450.000	585.000	410	394	77,0	35,0
	ULCC 3)		350.000	462.000	401	393	65,5	34,8
			300.000	399.000	388	382	62,2	34,6
	VLCC 4)		250.000	335.000	363	356	59,0	32,0
			200.000	271.000	341	336	54,8	30,0
	SUEZMAX 5)		175.000	238.700	330	323	53,0	28,5
			150.000	206.000	312	306	50,2	27,1
			125.000	171.600	297	291	44,7	25,3
	AFRAMAX 6)		100.000	140.000	274	268	44,2	23,5
			80.000	113.000	258	251	43,2	21,9
	PANAMAX 7)		70.000	99.200	245	239	39,6	20,8
			50.000	72.000	220	215	32,3	18,5
	PRODUCT CARRIER		30.000	44.200	188	182	30,4	15,4
			20.000	30.000	165	160	26,8	13,4
			15.000	22.800	151	146	24,5	12,1
			10.000	15.500	133	128	21,6	10,5
5.000			7.970	107	102	17,5	8,2	
1.000			1.710	64	61	10,6	4,7	
TIPO DE BUQUE	CLASE (CAPACIDAD)		GT	Δ_{PC} (t)	L (m)	L _{pp} (m)	B (m)	T (m)
GASEROS (Gas Carriers)	Q-MAX LNGC 8) (266.000 m³) 9)		160.000	176.000	345	332	53,8	27,0
	Q-FLEX LNGC (220.000 m³) 9)		130.000	143.000	315	303	50,0	27,0
	VLGC 10)	Esférico (140.000 m³)	100.000	110.600	289	274	48,5	26,5
		Membrana (140.000 m³)	95.000	105.000	279	266	42,6	26,5
	LPGC 11) 12)	(100.000 m³)	50.000	87.000	247	235	38,9	24,3
		(70.000 m³)	30.000	55.100	211	200	33,4	20,2
		(30.000 m³)	20.000	38.500	186	176	29,6	17,5
		(20.000 m³)	15.000	29.900	170	161	27,2	15,8
	LPGC 11) 12)	(10.000 m³)	10.000	20.900	150	141	24,1	13,7
		(7.500 m³)	5.000	11.300	121	114	19,6	10,7
		(1.500 m³)	1.000	2.740	74	68	12,2	6,0
TIPO DE BUQUE	CLASE		TMP	Δ_{PC} (t)	L (m)	L _{pp} (m)	B (m)	T (m)
GRANELEROS (Bulk Carriers)	VLBC 13)		400.000	460.000	385	370	64,0	32,5
			350.000	406.000	372	357	60,5	31,2
			300.000	350.000	360	348	57,4	30,0
			250.000	287.000	340	333	53,8	28,2
			200.000	232.000	319	311	50,2	26,4

$D_{e\backslash max}$ (m)	$A_{T.emer\backslash max}$ (m ²)	$A_{T.emer\backslash min}$ (m ²)	$A_{L.emer\backslash max}$ (m ²)	$A_{L.emer\backslash min}$ (m ²)	$A_{T.sumer\backslash max}$ (m ²)	$A_{T.sumer\backslash min}$ (m ²)	$A_{L.sumer\backslash max}$ (m ²)	$A_{L.sumer\backslash min}$ (m ²)
26,4	2.710	1.813	11.620	5.990	1.928	1.071	10.344	5.829
25,0	2.575	1.733	10.917	5.648	1.750	1.069	8.955	5.471
24,2	2.190	1.475	9.408	5.250	1.441	847	8.647	5.079
22,3	2.080	1.400	8.570	5.080	1.261	752	7.745	4.619
21,1	1.875	1.275	7.655	4.565	1.132	678	6.829	4.089
19,8	1.670	1.150	6.740	4.050	987	581	6.049	3.561
18,6	1.545	1.080	6.215	3.750	897	532	5.462	3.234
18,2	1.420	1.010	5.690	3.450	831	485	5.063	2.955
17,6	1.280	920	5.080	3.100	717	425	4.657	2.764
16,2	1.140	830	4.470	2.750	651	377	3.948	2.281
15,3	1.014	752	3.945	2.440	601	325	3.491	1.884
14,6	935	701	3.620	2.250	525	299	3.173	1.804
13,2	777	598	2.970	1.870	388	242	2.580	1.605
11,4	587	469	2.190	1.400	316	175	1.887	1.047
10,1	469	387	1.730	1.120	247	135	1.470	806
9,3	401	338	1.460	950	208	113	1.235	670
8,3	320	279	1.150	760	164	88	967	517
6,8	219	201	760	516	109	57	631	328
4,2	94	90	293	210	41	21	234	117
$D_{e\backslash max}$ (m)	$A_{T.emer\backslash max}$ (m ²)	$A_{T.emer\backslash min}$ (m ²)	$A_{L.emer\backslash max}$ (m ²)	$A_{L.emer\backslash min}$ (m ²)	$A_{T.sumer\backslash max}$ (m ²)	$A_{T.sumer\backslash min}$ (m ²)	$A_{L.sumer\backslash max}$ (m ²)	$A_{L.sumer\backslash min}$ (m ²)
12,2	1.795	1.670	8.900	8.065	657	515	4.051	3.174
12,3	1.650	1.550	8.300	7.500	615	458	3.737	2.775
12,5	1.900	1.800	8.750	8.250	607	392	3.425	2.212
12,3	1.300	1.250	6.660	6.150	525	383	3.272	2.391
12,8	1.360	1.250	5.240	4.740	453	360	2.735	2.170
12,8	1.026	946	3.850	3.460	389	268	2.328	1.601
11,9	822	756	3.010	2.700	321	213	1.905	1.262
11,0	702	645	2.530	2.260	273	181	1.610	1.067
9,8	563	515	1.980	1.770	216	144	1.257	842
8,0	385	351	1.300	1.160	143	97	830	560
5,0	160	144	493	431	56	40	310	218
$D_{e\backslash max}$ (m)	$A_{T.emer\backslash max}$ (m ²)	$A_{T.emer\backslash min}$ (m ²)	$A_{L.emer\backslash max}$ (m ²)	$A_{L.emer\backslash min}$ (m ²)	$A_{T.sumer\backslash max}$ (m ²)	$A_{T.sumer\backslash min}$ (m ²)	$A_{L.sumer\backslash max}$ (m ²)	$A_{L.sumer\backslash min}$ (m ²)
24,0	1.927	1.196	8.741	4.552	1.397	949	8.073	5.485
23,0	1.822	1.131	8.446	4.398	1.266	868	7.465	5.121
21,8	1.728	1.073	8.183	4.261	1.139	768	6.898	4.653
20,4	1.620	1.006	7.720	4.020	999	658	6.177	4.071
19,1	1.460	926	6.860	3.660	872	570	5.400	3.526

Parámetros representativos de los buques en función de su tipología y capacidad de carga ¹⁾ (continuación)

TIPO DE BUQUE	CLASE	TMP	Δ_{PC} (t)	L (m)	L _{pp} (m)	B (m)	T (m)
GRANELEROS (Bulk Carriers)	CAPESIZE ¹⁴⁾	150.000	177.000	294	286	45,9	24,2
		100.000	121.000	262	253	40,5	21,4
	PANAMAX ⁷⁾	70.000	86.000	236	227	32,3	19,3
	HANDYMAX	50.000	62.600	215	206	32,3	17,4
	HANDYSIZE	30.000	38.600	186	176	27,9	14,9
		20.000	26.300	165	156	24,6	13,2
		15.000	20.000	152	143	22,5	12,1
		10.000	13.700	136	127	19,8	10,8
	MINI BULK CARRIERS	7.000	9.740	123	114	17,7	9,7
		5.000	7.090	111	103	16,0	8,7
TIPO DE BUQUE	CLASE	TMP	Δ_{PC} (t)	L (m)	L _{pp} (m)	B (m)	T (m)
MERCANTES DE CARGA GENERAL (General Cargo Ships)	HANDYMAX	40.000	57.700	224	214	31,6	19,6
		30.000	44.000	205	195	29,2	18,0
		20.000	30.100	181	172	26,1	15,9
		15.000	22.900	166	157	24,1	14,6
		10.000	15.700	146	138	21,5	12,9
	SEAWAYMAX ¹⁵⁾	7.000	11.200	131	123	19,5	11,6
		5.000	8.150	118	111	17,8	10,5
		3.000	5.040	101	94	15,4	9,0
		1.000	1.790	72	66	11,4	6,5
TIPO DE BUQUE	CLASE	TEUs	Δ_{PC} (t)	L (m)	L _{pp} (m)	B (m)	T (m)
PORTA-CONTENEDORES ¹⁶⁾ (Containers Ships)	MALACCAMAX ¹⁷⁾	> 18.000 ²⁰⁾	375.000	470	446	60,0	34,0
	ULCV ¹⁸⁾	15.000 ²¹⁾	264.000	398	378	56,4	27,0
	SUEZMAX ⁵⁾ y NEW-PANAMAX ¹⁹⁾	12.000	204.000	382	363	53,0	26,5
		10.000	175.000	370	351	45,8	25,5
	SUPER-POST PANAMAX	9.000	172.000	352	335	45,6	25,2
		8.000	160.000	340	323	43,2	24,6
	POST-PANAMAX	6.000	131.000	318	302	42,8	24,2
		5.000	91.000	290	275	40,0	22,8
	PANAMAX ⁷⁾	4.000	85.000	285	270	32,3	22,6
		3.000	80.500	280	266	32,3	22,5
	FEEDER	2.000	65.000	256	243	32,3	20,6
		1.000	33.500	195	184	28,0	15,7
		500	17.400	148	139	23,2	11,9
		300	12.300	129	121	21,1	10,3

$D_{e\backslash max}$ (m)	$A_{T.emer\backslash max}$ (m ²)	$A_{T.emer\backslash min}$ (m ²)	$A_{L.emer\backslash max}$ (m ²)	$A_{L.emer\backslash min}$ (m ²)	$A_{T.sumer\backslash max}$ (m ²)	$A_{T.sumer\backslash min}$ (m ²)	$A_{L.sumer\backslash max}$ (m ²)	$A_{L.sumer\backslash min}$ (m ²)
17,5	1.280	833	5.890	3.240	731	473	4.550	2.943
15,5	1.050	717	4.750	2.720	571	365	3.566	2.280
14,0	892	628	3.930	2.340	412	290	2.890	2.032
12,7	761	555	3.290	2.030	374	232	2.380	1.479
10,9	599	459	2.510	1.630	278	168	1.745	1.056
9,6	495	395	2.030	1.370	216	129	1.362	816
8,9	433	356	1.740	1.220	183	107	1.158	679
7,9	358	306	1.400	1.020	143	83	913	528
7,1	303	268	1.160	880	115	66	737	420
6,4	259	237	970	763	94	53	647	338
$D_{e\backslash max}$ (m)	$A_{T.emer\backslash max}$ (m ²)	$A_{T.emer\backslash min}$ (m ²)	$A_{L.emer\backslash max}$ (m ²)	$A_{L.emer\backslash min}$ (m ²)	$A_{T.sumer\backslash max}$ (m ²)	$A_{T.sumer\backslash min}$ (m ²)	$A_{L.sumer\backslash max}$ (m ²)	$A_{L.sumer\backslash min}$ (m ²)
14,0	942	788	4.530	3.240	403	262	2.724	1.772
12,8	786	650	3.740	2.710	348	219	2.270	1.462
11,2	615	496	2.860	2.110	267	170	1.752	1.119
10,2	516	410	2.370	1.770	224	142	1.457	922
8,9	402	313	1.810	1.380	175	111	1.118	709
8,0	323	247	1.430	1.106	142	89	895	558
7,1	262	197	1.143	899	116	73	717	445
6,0	192	140	815	656	85	52	513	318
4,2	98	67	394	333	44	27	253	153
$D_{e\backslash max}$ (m)	$A_{T.emer\backslash max}$ (m ²)	$A_{T.emer\backslash min}$ (m ²)	$A_{L.emer\backslash max}$ (m ²)	$A_{L.emer\backslash min}$ (m ²)	$A_{T.sumer\backslash max}$ (m ²)	$A_{T.sumer\backslash min}$ (m ²)	$A_{L.sumer\backslash max}$ (m ²)	$A_{L.sumer\backslash min}$ (m ²)
20,0	3.408	3.300	21.161	17.759	1.091	749	8.109	5.563
15,5	2.777	2.763	16.704	14.391	796	622	5.328	4.166
15,5	2.409	2.368	13.890	12.222	748	501	5.116	3.426
15,0	2.141	2.065	11.869	10.621	625	444	4.787	3.401
14,8	2.113	2.035	11.664	10.458	614	456	4.508	3.357
14,5	2.019	1.930	10.972	9.905	570	441	4.251	3.297
14,2	1.763	1.649	9.153	8.430	553	386	3.899	2.724
14,0	1.468	1.334	7.165	6.780	509	295	3.500	2.025
13,5	1.401	1.265	6.740	6.421	397	281	3.314	2.343
13,5	1.380	1.190	6.390	6.260	397	270	3.265	2.219
12,6	1.232	1.040	5.460	5.450	370	238	2.784	1.791
10,2	855	679	3.360	3.530	260	162	1.707	1.065
8,3	594	445	2.060	2.290	176	112	1.050	668
7,4	492	358	1.600	1.830	143	91	815	519

Parámetros representativos de los buques en función de su tipología y capacidad de carga ¹⁾ (continuación)

TIPO DE BUQUE	CLASE	GT	Δ_{PC} (t)	L (m)	L _{pp} (m)	B (m)	T (m)
TRANSPORTADORES DE COCHES (Pure and Truck Car Carriers - PCC-PTCC)	8.000 Car Units ²⁴⁾	72.000	50.000	230	218	32,3	36,7
	7.000 Car Units	65.000	43.000	227	215	32,3	36,4
	6.000 Car Units	57.000	38.000	200	190	32,3	34,6
	5.000 Car Units	45.000	32.000	196	186	31,2	34,1
	4.000 Car Units	36.000	25.000	175	166	31,0	32,0
	3.000 Car Units	28.000	20.000	165	157	28,0	30,5
	2.000 Car Units	20.000	15.000	150	143	22,7	28,4
	1.000 Car Units	13.000	10.000	130	124	18,8	24,2
	700 Car Units	7.000	5.500	100	95	17,0	23,1
TIPO DE BUQUE	CLASE	TPM	Δ_{PC} (t)	L (m)	L _{pp} (m)	B (m)	T (m)
RO-RO (Roll-On/Roll-Off Ships)	15.000 ml ²⁵⁾	35.000	63.000	294	273	34,2	34,3
	12.500 ml	30.000	55.600	275	255	34,0	32,5
	8.500 ml	20.000	38.200	237	219	30,8	27,2
	6.500 ml	15.000	29.300	213	197	28,7	23,9
	4.000 ml	10.000	20.200	184	170	26,0	20,0
	3.000 ml	7.000	14.500	161	149	23,8	17,1
	2.750 ml	5.000	10.620	143	131	21,9	14,8
	2.500 ml	3.000	6.630	118	109	19,3	11,8
	2.000 ml	2.000	4.560	102	94	17,5	9,9
	1.250 ml	1.000	2.400	79	72	14,8	7,3
TIPO DE BUQUE	CLASE	GT	Δ_{PC} (t)	L (m)	L _{pp} (m)	B (m)	T (m)
FERRIES	FERRIES CONVENCIONALES (Ro-Ro, Ro-Pax and Cruise Ferries)	50.000	82.500	309	291	42,6	21,4
		40.000	66.800	281	264	39,9	19,7
		30.000	50.300	253	237	37,2	18,0
		20.000	33.800	219	204	33,6	15,9
		15.000	25.500	197	184	31,3	14,5
		10.000	17.100	170	158	28,3	12,8
		7.000	12.100	150	139	25,9	11,5
		5.000	8.690	133	122	23,8	10,4
		3.000	5.260	110	101	20,9	8,8
		2.000	3.540	95	87	18,9	7,8
		1.000	1.790	74	68	15,9	6,3
	FERRIES RÁPIDOS MULTICASCO (Multihull Fast Ferries)	9.000	3.100	127	117	30,5	8,3
		6.000	2.100	107	93	26,5	9,5
		5.000	1.700	97	83	24,7	7,8
		4.000	1.400	92	79	24,0	7,3
		2.000	700	85	77	21,2	6,5
		1.000	350	65	62	16,7	6,2
		500	175	46	41	12,3	4,0
		250	96	42	37	11,6	4,3

$D_{e\backslash max}$ (m)	$A_{T.emer\backslash max}$ (m ²)	$A_{T.emer\backslash min}$ (m ²)	$A_{L.emer\backslash max}$ (m ²)	$A_{L.emer\backslash min}$ (m ²)	$A_{T.sumer\backslash max}$ (m ²)	$A_{T.sumer\backslash min}$ (m ²)	$A_{L.sumer\backslash max}$ (m ²)	$A_{L.sumer\backslash min}$ (m ²)
11,8	1.381	1.186	7.576	6.260	365	223	2.465	1.502
11,6	1.362	1.151	7.561	6.153	356	194	2.365	1.292
11,6	1.258	1.047	6.353	5.112	356	194	2.090	1.142
10,0	1.191	1.019	6.223	5.200	297	167	1.767	995
9,2	1.099	937	5.300	4.435	270	146	1.445	783
8,8	945	803	4.825	4.030	236	124	1.319	693
7,8	718	627	4.101	3.521	153	102	962	641
6,5	525	468	3.090	2.711	106	79	690	516
5,2	468	426	2.329	2.095	76	57	423	314
$D_{e\backslash max}$ (m)	$A_{T.emer\backslash max}$ (m ²)	$A_{T.emer\backslash min}$ (m ²)	$A_{L.emer\backslash max}$ (m ²)	$A_{L.emer\backslash min}$ (m ²)	$A_{T.sumer\backslash max}$ (m ²)	$A_{T.sumer\backslash min}$ (m ²)	$A_{L.sumer\backslash max}$ (m ²)	$A_{L.sumer\backslash min}$ (m ²)
14,0	1.350	1.179	5.780	5.655	436	224	3.475	1.787
13,5	1.240	1.090	5.330	5.210	418	212	3.130	1.587
11,6	1.020	912	4.430	4.320	325	170	2.310	1.203
10,5	891	805	3.880	3.780	274	145	1.881	991
9,0	736	675	3.230	3.130	213	116	1.391	754
7,9	621	578	2.740	2.650	171	95	1.071	591
7,0	530	499	2.350	2.270	140	79	834	471
5,8	416	400	1.860	1.790	102	59	575	334
4,9	344	335	1.550	1.480	78	47	419	253
3,8	248	248	1.130	1.080	52	33	249	158
$D_{e\backslash max}$ (m)	$A_{T.emer\backslash max}$ (m ²)	$A_{T.emer\backslash min}$ (m ²)	$A_{L.emer\backslash max}$ (m ²)	$A_{L.emer\backslash min}$ (m ²)	$A_{T.sumer\backslash max}$ (m ²)	$A_{T.sumer\backslash min}$ (m ²)	$A_{L.sumer\backslash max}$ (m ²)	$A_{L.sumer\backslash min}$ (m ²)
13,7	1.154	1.084	6.500	6.160	531	275	3.625	1.879
12,7	1.020	960	5.520	5.230	461	246	3.048	1.624
11,7	886	836	4.540	4.300	396	206	2.521	1.312
10,3	728	690	3.450	3.270	315	161	1.911	976
9,5	633	602	2.840	2.700	271	135	1.589	791
8,4	521	497	2.150	2.050	217	105	1.207	587
7,6	438	420	1.690	1.610	179	85	961	454
6,9	372	358	1.350	1.290	150	70	766	355
5,9	291	281	951	911	113	51	542	245
5,3	239	232	722	693	91	40	420	182
4,3	171	167	451	434	63	26	266	110
4,3	574	544	2.245	2.041	60	36	458	273
3,7	501	481	1.843	1.700	45	31	313	212
3,4	424	408	1.480	1.370	39	28	257	185
3,2	385	369	1.348	1.243	35	24	230	157
3,1	318	298	1.271	1.124	30	12	217	88
2,1	242	232	987	913	16	8	119	56
1,8	154	148	550	513	10	6	68	39
1,6	136	131	498	461	9	4	54	22

Parámetros representativos de los buques en función de su tipología y capacidad de carga ¹⁾ (continuación)

TIPO DE BUQUE	CLASE	GT	Δ_{PC} (t)	L (m)	L _{pp} (m)	B (m)	T (m)
CRUCEROS (Cruise Ships)	6.300 ²⁷⁾	225.000	110.000	362	326	47,0	24,8
	4.500	155.000	77.000	350	315	39,0	23,8
	4.000	145.000	72.000	340	306	38,9	23,5
	3.000	140.000	70.000	325	293	38,6	22,7
	2.500	120.000	65.700	294	265	35,5	22,5
	2.000	95.000	47.500	272	245	35,0	22,0
	1.500	70.000	39.700	263	237	32,2	21,3
	1.000	50.000	29.200	235	200	32,2	20,9
	800	35.000	21.000	192	175	29,8	19,7
	500	30.000	18.000	173	159	27,7	17,6
	250	20.000	12.000	151	139	25,1	15,1
	200	15.000	9.000	133	124	22,9	13,2
	175	10.000	6.000	119	111	21,1	11,6
	150	6.000	3.600	99	94	18,6	9,6
	–	4.000	2.400	86	82	16,7	8,2
	–	2.000	1.200	68	65	14,1	6,3
TIPO DE BUQUE	CLASE	TRB	Δ_{PC} (t)	L (m)	L _{pp} (m)	B (m)	T (m)
PESQUEROS (Fishing Vessels)	PESQUEROS DE ALTURA Y GRAN ALTURA ²⁸⁾	7.500	9.100	142	130	18,7	9,0
		5.000	6.000	118	109	17,7	8,0
		2.500	3.250	96	83	15,2	7,2
		2.000	2.500	90	80	14,0	7,1
		1.500	2.200	80	70	12,0	7,0
		1.000	1.750	75	65	12,0	7,0
		500	1.000	55	42	11,0	6,8
		300	600	40	35	10,0	6,6
		200	400	36	28	8,0	4,5
		150	300	32	26	7,5	3,6
	PESQUEROS DE BAJURA	100	200	27	23	7,3	3,4
		75	165	25	22	6,6	3,0
		50	115	21	17	6,2	2,9
		25	60	15	12,5	5,8	2,8
		15	40	11	9,2	5,0	1,5
EMBARCACIONES DEPORTIVAS Y DE RECREO A MOTOR (Motor Yachts and Boats)	MEGAYATES ²⁹⁾ (según L)	9.500	160	135	27,8	–	
		7.000	140	120	23,5	–	
		4.500	120	102	18,5	–	
		3.500	100	85	16,5	–	
		1.600	70	60	13,5	–	
		1.100	60	51	12,0	–	
		700	50	43	9,0	–	

D_{elmax} (m)	$A_{T.emerlmax}$ (m ²)	$A_{T.emerlmin}$ (m ²)	$A_{L.emerlmax}$ (m ²)	$A_{L.emerlmin}$ (m ²)	$A_{T.sumerlmax}$ (m ²)	$A_{T.sumerlmin}$ (m ²)	$A_{L.sumerlmax}$ (m ²)	$A_{L.sumerlmin}$ (m ²)
9,3	2.590	2.543	16.656	16.330	398	351	2.757	2.431
8,8	2.100	2.042	15.730	15.258	312	254	2.520	2.048
8,7	2.000	1.936	14.624	14.124	308	244	2.421	1.920
8,6	1.870	1.815	13.188	12.775	302	243	2.291	1.878
8,4	1.476	1.460	10.275	10.155	271	235	2.024	1.904
8,4	1.290	1.260	9.020	8.780	268	221	1.871	1.547
8,4	1.120	1.090	7.170	7.020	246	194	1.810	1.423
8,4	907	879	5.070	4.990	246	190	1.528	1.179
8,4	766	740	3.850	3.810	228	172	1.337	1.008
8,4	679	654	3.160	3.150	212	162	1.215	930
8,2	573	551	2.400	2.400	188	124	1.037	684
7,2	493	473	1.890	1.880	150	113	812	609
6,3	428	410	1.510	1.500	121	84	636	441
5,1	346	330	1.080	1.060	87	60	436	300
4,4	292	278	822	804	67	46	328	223
3,3	218	207	518	502	43	27	195	132
D_{elmax} (m)	$A_{T.emerlmax}$ (m ²)	$A_{T.emerlmin}$ (m ²)	$A_{L.emerlmax}$ (m ²)	$A_{L.emerlmin}$ (m ²)	$A_{T.sumerlmax}$ (m ²)	$A_{T.sumerlmin}$ (m ²)	$A_{L.sumerlmax}$ (m ²)	$A_{L.sumerlmin}$ (m ²)
7,1	247	242	934	897	121	113	839	780
6,9	210	197	744	665	111	97	684	595
6,7	145	130	544	557	93	76	506	415
5,9	135	122	568	496	76	61	429	350
5,3	118	107	503	469	58	51	338	293
5,0	115	106	503	455	55	44	296	237
4,3	95	93	325	315	43	38	165	145
4,1	88	81	287	263	38	29	131	99
3,5	57	52	181	168	26	22	90	74
3,4	46	42	152	136	24	19	81	64
3,2	–	–	–	–	–	–	–	–
2,8	–	–	–	–	–	–	–	–
2,7	–	–	–	–	–	–	–	–
2,6	–	–	–	–	–	–	–	–
2,3	–	–	–	–	–	–	–	–
5,5	–	–	–	–	–	–	–	–
5,0	–	–	–	–	–	–	–	–
4,9	–	–	–	–	–	–	–	–
4,8	–	–	–	–	–	–	–	–
3,8	–	–	–	–	–	–	–	–
3,6	–	–	–	–	–	–	–	–
3,5	–	–	–	–	–	–	–	–

Parámetros representativos de los buques en función de su tipología y capacidad de carga ¹⁾ (continuación)

TIPO DE BUQUE	CLASE	Δ_{PC} (t)	L (m)	L_{pp} (m)	B (m)	T (m)
EMBARCACIONES DEPORTIVAS Y DE RECREO A MOTOR (Motor Yachts and Boats)	SUPERYATES ³⁰⁾	500	45	39	8,5	—
		250	40	34	8,0	—
	YATES A MOTOR ³¹⁾	150	30	25	7,5	—
		50	20	17	5,5	—
	OTRAS EMBARCACIONES A MOTOR	30	15	12,5	5,2	—
		15	10	8,5	4,0	—
		1,2	7	6	2,5	—
TIPO DE BUQUE	CLASE	Δ_{PC} (t)	L (m)	L_{pp} (m)	B (m)	T (m)
EMBARCACIONES DEPORTIVAS Y DE RECREO A VELA (Sailing Yachts and Boats)	YATES VELEROS ³²⁾	1.500	90 ³⁴⁾	67,5	13,5	—
		1.000	70	51,5	11,5	—
		650	60	42,0	11,2	—
		550	50	37,5	9,5	—
		190	40	31,0	9,3	—
		125	30	28,0	7,2	—
		40	20	17,5	5,5	—
		13	15	11,2	4,5	—
	VELEROS ³³⁾	10	12	11,0	3,8	—
		5	10	9,5	3,5	—
		1,5	6	5,7	2,4	—
	VELA LIGERA	1,0	5	4,3	2,0	—
		0,8	2,5	2,3	1,5	—

Notas

- 1) Las magnitudes de los parámetros proporcionados por esta tabla consideran el parámetro de referencia de capacidad de carga para cada tipo de buque (TPM, TEU, GT, TRB), y la eslora en el caso de las embarcaciones deportivas y de recreo, como parámetro principal (columna más a la izquierda), pudiendo considerarse los valores de los otros parámetros los asociados a un cuantil del 85% de la función de distribución del parámetro correlacionado, condicionada a cada valor del parámetro principal, considerando como población todos los buques existentes en el mercado de una tipología determinada. Los valores asociados a un cuantil del 15% pueden estimarse con carácter general multiplicando por 0,80 los consignados en la tabla y los asociados a un cuantil del 50% (valores medios) multiplicándolos por 0,9.
- 2) El mayor Supertanker construido es de 550.000 TPM (2011).
- 3) Del inglés Ultra Large Crude Carrier.
- 4) Del inglés Very Large Crude Carrier.
- 5) Máximo tamaño de buques que pueden transitar por el canal de Suez a plena carga, considerando los valores medios de sus parámetros representativos. Es decir, puede haber buques con estos tonelajes que superen 16 m de calado en navegación.
- 6) Máximo tamaño de buques definido por la American Freight Rate Association (AFRA).
- 7) Máximo tamaño de buques que pueden transitar por el Canal de Panamá a plena carga, considerando los valores medios de sus parámetros representativos. Es decir, puede haber buques con estos tonelajes que superen 32,3 m de manga, 294 m de eslora o 12 m de calado.
- 8) Del inglés Liquefied Natural Gas Carrier.
- 9) Las clases Q-MAX y Q-FLEX son gaseros del tipo Membrana.
- 10) Del inglés Very Large Gas Carrier.
- 11) Del inglés Liquefied Petroleum Gas Carrier.
- 12) Los gaseros LPGC son generalmente del tipo Prismático.
- 13) Del inglés Very Large Bulk Carrier.
- 14) Deben su nombre a que son buques que son demasiado grandes para transitar por los canales de Suez y Panamá y deben transitar por los cabos de Buena Esperanza y Hornos.
- 15) Máximo tamaño de buque que pueden transitar por el canal del Río San Lorenzo a plena carga, considerando los valores medios de sus parámetros representativos. Es decir, puede haber buques con estos tonelajes que superen 226 m de eslora, 24 m de manga o 7,9 de calado en navegación.
- 16) Las áreas frontal y lateral de los buques portacontenedores por encima de la línea de flotación, en condición de máxima carga, incluyen las áreas debidas a los contenedores estibados en cubierta. Por dicha razón, la columna de área longitudinal máxima para este tipo de buque se corresponde con la condición de carga máxima en lugar de con la condición de en lastre.
- 17) Se consideran englobados en la clase MALACCAMAX los buques mayores de 16.000 TEUs que puedan transitar por el estrecho de Malaca a plena carga, considerando los valores medios de sus parámetros representativos. Es decir, puede haber buques con estos desplazamientos que

$D_{e\max}$ (m)	$A_{T.emer\max}$ (m ²)	$A_{T.emer\min}$ (m ²)	$A_{L.emer\max}$ (m ²)	$A_{L.emer\min}$ (m ²)	$A_{T.sumer\max}$ (m ²)	$A_{T.sumer\min}$ (m ²)	$A_{L.sumer\max}$ (m ²)	$A_{L.sumer\min}$ (m ²)
3,3	–	–	–	–	–	–	–	–
3,0	–	–	–	–	–	–	–	–
2,9	–	–	–	–	–	–	–	–
2,7	–	–	–	–	–	–	–	–
2,2	–	–	–	–	–	–	–	–
1,6	–	–	–	–	–	–	–	–
1,3	–	–	–	–	–	–	–	–
$D_{e\max}$ (m)	$A_{T.emer\max}$ (m ²)	$A_{T.emer\min}$ (m ²)	$A_{L.emer\max}$ (m ²)	$A_{L.emer\min}$ (m ²)	$A_{T.sumer\max}$ (m ²)	$A_{T.sumer\min}$ (m ²)	$A_{L.sumer\max}$ (m ²)	$A_{L.sumer\min}$ (m ²)
6,5	–	–	–	–	–	–	–	–
6,0	–	–	–	–	–	–	–	–
5,5	–	–	–	–	–	–	–	–
5,0	–	–	–	–	–	–	–	–
4,5	–	–	–	–	–	–	–	–
3,6	–	–	–	–	–	–	–	–
3,0	–	–	–	–	–	–	–	–
2,5	–	–	–	–	–	–	–	–
2,3	–	–	–	–	–	–	–	–
2,1	–	–	–	–	–	–	–	–
1,5	–	–	–	–	–	–	–	–
1,0	–	–	–	–	–	–	–	–
0,5	–	–	–	–	–	–	–	–

en el futuro puedan superar 25 m de calado en navegación. En la actualidad (2011) el único tipo de estos buques en construcción son los denominados Triple-E con una capacidad de 18.000 TEUs. Los datos incluidos en la tabla correspondientes a la clase MALACCAMAX, dado que son buques aún con un desarrollo incipiente, son estimaciones de los valores representativos que pueden alcanzar los parámetros geométricos de dichos buques.

18) Del inglés Ultra Large Container Vessel.

19) A la clase SUEZMAX también se la empieza a denominar clase NEW-PANAMAX (Máximo tamaño de buques que pueden transitar por las nuevas esclusas del Canal de Panamá a plena carga, considerando los valores medios de sus parámetros representativos. Es decir, puede haber buques con esta capacidad que superen 366 metros de eslora, 49 de manga y 15,2 metros de calado.

20) De la clase MALACCAMAX, únicamente está actualmente (2011) en fase constructiva el tipo de buque denominado Triple-E con una capacidad de 18.000 TEUs. Los principales parámetros geométricos de este tipo de buques son: 400 m de eslora, 59 m de manga y 14,5 m de calado.

21) El mayor buque portacontenedores construido es de 15.500 TEU (2011).

22) El área transversal emergida máxima está asociada con el buque en lastre.

23) El área longitudinal emergida máxima está asociada con el buque a plena carga.

24) La unidad que mide la capacidad del buque en unidades de coche (car unit) suele ser la unidad convencional RT43, equivalente a 8,4 m² (4,2 m de largo x 2 de ancho).

25) Las equivalencias entre metros lineales, número de plataformas y unidades equivalentes de coches son las siguientes:

RT43 = 4.2 ml.

Número de plataformas = 14.2 ml.

26) En los ferries rápidos multicasco, puede considerarse que la manga efectiva de flotación de los cascos es aproximadamente el 45/50 % de la indicada, que corresponde a la manga máxima de la superestructura.

27) El mayor buque de cruceros construido tiene una capacidad de 6.300 pasajeros (2011).

28) Incluye buques factoría y congeladores.

29) Embarcaciones de recreo a motor con eslora (L) > 45 m.

30) Embarcaciones de recreo a motor con eslora (L) > 30 m

31) Embarcaciones de recreo a motor con eslora (L) > 15 m

32) Embarcaciones deportivas y de recreo a vela con eslora (L) ≥ 15 m.

33) Embarcaciones deportivas y de recreo a vela con eslora (L) < 15 m.

34) Si bien hay veleros de mayores dimensiones (hasta 200 m de eslora) no pueden considerarse propiamente embarcaciones deportivas o de recreo, siendo normalmente buques militares escuela o buques de crucero.

Las corrientes de retorno y los descensos de los niveles de las aguas generados por los buques en general pueden despreciarse para la verificación de las obras de atraque y amarre debido a que sus magnitudes no son relevantes en el emplazamiento de las mismas por alguna de las siguientes causas:

- ◆ las distancias de seguridad recomendadas entre vías de navegación con velocidad de los buques escasamente o no restringida y un puesto de atraque y amarre da lugar a dimensiones o geometrías en el emplazamiento que a estos efectos pueden considerarse amplias.
- ◆ las limitaciones normalmente establecidas a la velocidad absoluta de navegación de los buques en áreas restringidas (2.0-3.0 m/s) o de acceso (1.0-1.5 m/s) a obras de atraque y fondeaderos (Ver apartado 7.2.3.4. de la ROM 3.1-99). ⁽⁵⁷⁾

Por el contrario, en todos los casos deberá valorarse las características de las ondas generadas por la flota previsible de buque en tránsito por las áreas adyacentes a la obra de atraque en el emplazamiento de la misma y tomarse en consideración en los procesos de verificación cuando sean relevantes, considerando su actuación tanto directamente sobre la obra de atraque como indirectamente sobre el buque amarrado o sobre el buque durante las maniobras de atraque (Ver apartados 4.6.4.4.3. Acciones de atraque y 4.6.4.4.7. Acciones de amarre).

De igual forma, deberán valorarse los efectos de succión y rechazo entre buques en tránsito y buque amarrado o buque durante las maniobras de atraque, debiéndose tomar en consideración, en el caso de que sean significativos, para la determinación de las acciones de atraque y amarre (Ver apartados 4.6.4.4.3. Acciones de atraque y 4.6.4.4.7. Acciones de amarre).

4.6.4.4.2.1. Ondas generadas por los buques en tránsito

Las características del oleaje operativo generado por un buque en tránsito (ondas de acompañamiento del buque) puede definirse en función del número de Froude (F_r).

$$F_r = \frac{V_b}{\sqrt{g \cdot h}}$$

siendo:

- V_b = velocidad relativa del buque respecto del agua.
- h = profundidad en el emplazamiento.
- g = aceleración de la gravedad.

◆ Para $F_r < 0,85$. Hipótesis de aguas profundas

En esta situación puede considerarse que los trenes de ondas producidos por los buques durante la navegación no están afectados por el fondo durante el proceso de generación y posterior propagación.

En este hipótesis pueden incluirse la mayor parte de las ondas generadas por los buques tanto en las áreas exteriores de aproximación a puertos y fondeaderos como en las áreas interiores. Esto es así, dado que, salvo casos de embarcaciones rápidas como ferris rápidos o embarcaciones deportivas y de recreo a motor, los buques no pueden superar con la potencia instalada velocidades que den lugar a números de Froude mayores de 0,85, al depender la resistencia hidrodinámica al movimiento de un buque de este número. Por otro lado, en general los criterios de explotación de las instalaciones portuarias recomiendan limitar la velocidad absoluta de todo tipo de buques tanto en áreas exteriores de acceso a puertos y fondeaderos como en las áreas interiores de los mismos a valores que no superan

(57) Las corrientes de retorno y los descensos de los niveles de las aguas generados por buques no suelen ser despreciables para la verificación de márgenes en áreas restringidas de navegación y compuertas de esclusas, particularmente por causa de los mayores desniveles adicionales de las aguas que pueden producirse.

En estas condiciones, las ondas generadas por un buque en tránsito pueden considerarse compuestas por la interacción entre trenes de ondas transversales o de popa y trenes de ondas divergentes cuyo desarrollo y posterior disipación puede admitirse que se produce en cada instante prácticamente en el interior del área limitada por dos rectas que forman aproximadamente $19,5^\circ$ con el eje de navegación y vértice en la proa del buque generador, pudiéndose transformar dependiendo de las condiciones locales existentes en el emplazamiento y por la presencia de la propia obra. En dichas líneas límite móviles, denominadas líneas de picos, se considera que tiene lugar el cruce de las ondas transversales y divergentes, produciéndose en cada instante las máximas alturas de ola (Ver figura en la tabla 4.6.4.34). En dichas líneas las alturas de ola son decrecientes al aumentar su distancia al eje de navegación.

En ausencia del análisis de estas ondas mediante modelos numéricos o físicos de predicción de estelas generadas por buques, la descripción detallada de las mismas, sin considerar modificaciones por fondo o por condiciones de contorno, así como sus características, pueden aproximarse suficientemente a estos efectos mediante la metodología de la tabla 4.6.4.34. (Estela de Kelvin).

Como puede observarse en dicha tabla, las características de las ondas generadas por los buques en tránsito para números de Froude menores de 0,85 son similares (oleaje de periodo corto del orden de 1 a 5 s) a las de un oleaje de viento (Ver apartado 4.6.2.1) y, por tanto, este tipo de ondas puede ser un agente predominante en modos de fallo o parada operativa en los que lo también pudieran serlo los oleajes de viento.

En esta situación puede considerarse que las ondas producidas por los buques durante la navegación están afectadas por la profundidad de las aguas durante los procesos de generación y posterior propagación. Para la predicción de este tipo de ondas puede partirse de las características de las ondas generadas considerando la profundidad constante, analizando posteriormente los procesos asociados a las transformaciones de las mismas en profundidades reducidas y a las condiciones locales del emplazamiento.

Diagrama de un sistema de navegación por ondas de radio que muestra la propagación de ondas divergentes y transversales desde una línea de picos, con ángulos de 19.5° y 35.0° .

Características de las ondas generadas por un buque en tránsito con $F_r < 0,85$ (Hipótesis de aguas profundas). Estela de Kelvin (continuación)

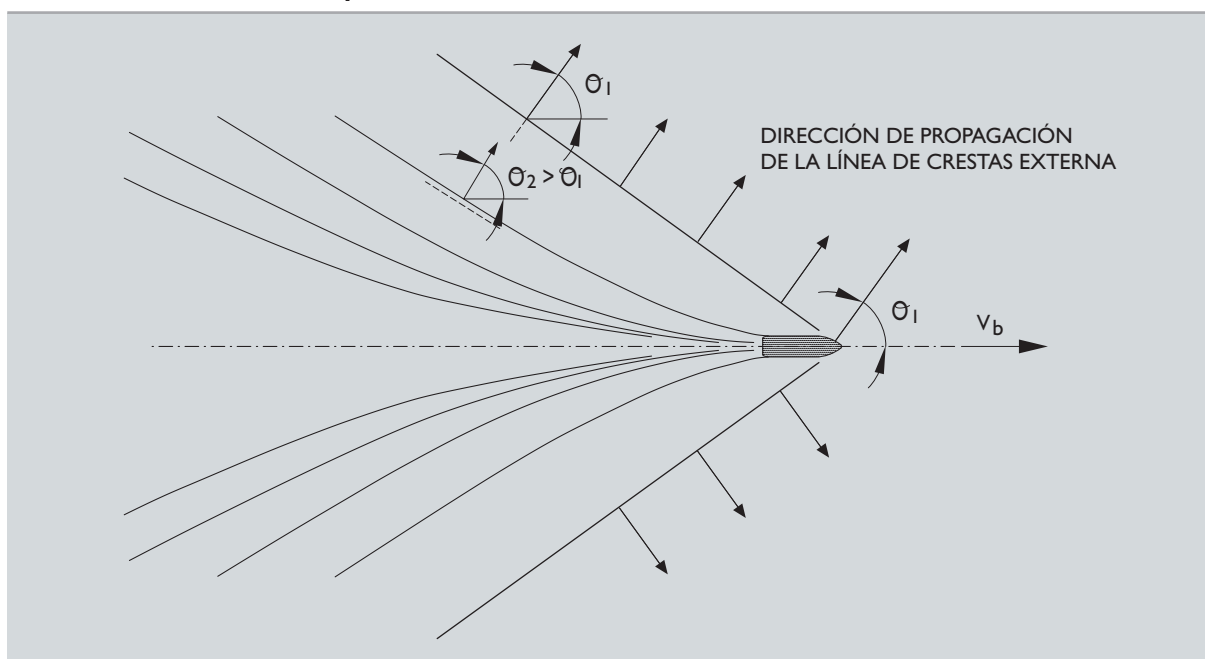
CARACTERÍSTICAS DE LAS ONDAS TRANSVERSALES O DE POPA
<p>Onda lineal progresiva regular (L_t, T_t) con forma de arco, con celeridad igual a la velocidad relativa de buque respecto al agua ($c_t = V_b$) y dirección de propagación con respecto al eje de navegación del buque entre 0° (en el eje de navegación) y aproximadamente 35° (en la línea de picos) medida a partir del sentido de la navegación ⁽¹⁾. Las características de esta onda pueden aproximarse por medio de la siguiente formulación:</p> $c_t^2 = V_b^2 = g \frac{L_t}{2\pi} \operatorname{tgh} \left(\frac{2\pi}{L_t} h \right) \quad T_t = \frac{L_t}{V_b}$ <p>Como la longitud de las crestas aumenta desde su generación con el buque con la distancia de propagación al tener forma de arco, la altura de la ola decrece de manera inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la distancia propagada.</p>
CARACTERÍSTICAS DE LAS ONDAS DIVERGENTES
<p>Ondas con forma de curvas cóncavas cuyas longitudes de onda (L_d) y periodos (T_d) en cada punto de la onda divergente medidos en la dirección de propagación (θ_d) pueden aproximarse por la siguiente formulación:</p> $c_d = V_b \cos \theta_d \quad L_d = L_t \cos^2 \theta_d \quad T_d = T_t \cos \theta_d$ <p>El valor de θ_d es función de la posición relativa del punto considerado respecto al eje de navegación del buque generador, oscilando entre 90° (en el eje de navegación) y aproximadamente 35° (en la línea de picos) ⁽¹⁾ respecto a dicho eje y medida a partir del sentido de la navegación.</p>
CARACTERÍSTICAS DE LAS OLAS MÁXIMAS
<p>Las ondas de altura máxima se producen en la intersección entre las ondas transversales y divergentes, en la línea de picos. Las características de dichas ondas pueden aproximarse por la siguiente formulación:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Dirección de propagación (θ_d): aproximadamente 35° respecto al eje y sentido de la navegación. – Longitud de onda en la dirección de propagación: $L_b = L_t \cdot \cos^2 35^\circ = 0,671 \cdot L_t$ ⁽²⁾ – Periodo de la onda en la dirección de propagación: $T_b = T_t \cdot \cos 35^\circ = 0,82 \cdot T_t$ ⁽²⁾ – Altura de ola máxima en el punto i de la línea de picos, $H_{b,\max i}$ $H_{b,\max i} = \alpha \frac{V_b^2}{g} \left[\frac{s_i}{h} \right]^{-\frac{1}{2}}$ <p>Siendo:</p> <p>s_i : la distancia entre el punto considerado y el buque, medida en la línea de picos. Puede aproximarse por: $s_i = y_i \cdot \sin 19,5^\circ$, siendo y_i la ordenada del punto considerado medida a partir del eje de navegación menos la mitad de la manga del buque.</p> <p>α : coeficiente adimensional empírico, característico del tipo de buque. Pueden adoptarse los siguientes valores:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 1,0 para los buques convencionales a plena carga, embarcaciones deportivas y de recreo y remolcadores. – 0,35 para los buques convencionales en lastre.
<p>Notas</p> <p>1) El valor de θ_d en la línea de picos depende del valor del número de Froude. Un valor más exacto del mismo puede aproximarse más exactamente por medio de la siguiente formulación (Weggel & Sorensen, 1986):</p> $\theta_d = 35,27(1 - e^{12(F_r-1)})$ <p>1) En aguas profundas ($h/L_b > 1/2$) la formulación señalada se simplifica de la siguiente forma:</p> <ul style="list-style-type: none"> – $L_b = 4,2 (V_b)^2/g$ – $T_b = 5,1 V_b/g$ <p>En esas condiciones, para buques convencionales y en las instalaciones portuarias en las que está limitada la velocidad de los buques por criterios de explotación, estos valores generalmente se encuentran en el intervalo entre 1 y 5 s para el periodo y 1 y 45 m para las longitudes de onda.</p>

En estas condiciones puede considerarse que, al contrario que en los casos con $F_r < 0,85$, no se forman ondas transversales. En aguas de profundidad constante, puede considerarse que las ondas generadas por el buque están formadas únicamente por ondas divergentes. La línea de crestas más externa es recta, de longitud variable dependiente del tiempo en el que el buque ha estado navegando con un determinado número de Froude, y con un ángulo de propagación (θ_1) respecto al eje de navegación definido por la siguiente relación: $\cos \theta_1 = 1/F_r$. El resto de ondas producidas son divergentes respecto a la primera, con

las líneas de crestas y senos curvadas hacia el eje de navegación con ángulos progresivamente crecientes de propagación, hasta ser prácticamente paralelas (ángulos de propagación próximos a ser perpendiculares) al eje de navegación (Ver figura 4.6.4.5).

Lo más relevante de estas ondas generadas por buques en tránsito para las obras de atraque y amarre es que la longitud de onda y el periodo de las ondas divergentes en la dirección de propagación es mayor que las generadas en el caso de $F_r < 0,85$, aumentando con la distancia al eje de navegación debido a la diferencia de ángulo de propagación entre ondas consecutivas. Este efecto hace que ondas con periodo muy largo, aunque en algunos casos con muy pequeña amplitud, puedan alcanzar obras de atraque y amarre emplazadas incluso muy alejadas de las vías de navegación por las que transitan buques o embarcaciones deportivas o de recreo rápidos ⁽⁵⁸⁾. En estos casos, deberá analizarse por medio de modelos físicos o numéricos de generación y propagación particularmente que las ondas largas producidas por estos buques, al igual que las ondas largas debidas a otros efectos del medio físico (Ver apartado 4.6.2.1), puedan alcanzar el emplazamiento de las obras de atraque y amarre y producir fenómenos de resonancia en las dársenas o amplificaciones dinámicas en los sistemas buque/amarras/defensas que afecten a la permanencia u operaciones de los buques o embarcaciones en el atraque. Por dicha razón, cuando estos efectos puedan producirse, en general es recomendable evitarlos, bien exigiendo por criterios de explotación limitaciones de velocidad para que los buques naveguen con números de Froude inferiores a 0,85 en las áreas susceptibles de generar estos efectos, bien disponiendo los atraques y amarres en áreas con configuraciones adecuadas o protegidas respecto a este tipo de ondas.

Figura 4.6.4.5. Características de las ondas generadas por un buque en tránsito en aguas de profundidad constante con $F_r \geq 0,85$ (Hipótesis de profundidades reducidas)



Dadas las características de las ondas generadas por un buque en tránsito, puede considerarse que los parámetros que definen a este agente son los mismos que los que definen al oleaje o, en su caso, a las ondas largas de origen climático (Ver tabla 4.6.2.1), considerando la altura de ola (H), el periodo (T) y la dirección de propagación (θ) de la onda de altura máxima generada por el buque que afecta a la obra de atraque y amarre, defini-

(58) Se han registrado oleajes generados por buques rápidos con periodos superiores a 40 s a distancias superiores a 2,5 km del eje de navegación.

da en función de los diferentes modelos de generación y propagación asociados con el número de Froude y de las condiciones locales en el emplazamiento y en presencia de la obra.

El agente onda de acompañamiento del buque navegando tiene un carácter variable y se considerará como agente independiente tanto del oleaje como de los otros agentes climáticos, y de actuación simultánea con los mismos de forma transitoria en los ciclos de operatividad (condiciones de trabajo operativas) de la instalación (operaciones de atraque, realización de las operaciones de carga y descarga o embarque y desembarque de pasajeros con buque atracado y permanencia del buque en el atraque). A todos los efectos, y en particular el de simultaneidad de los agentes, estas ondas pueden tratarse como un agente climático más, independiente del resto de agentes climáticos en los estados climáticos de proyecto de acuerdo con lo definido en el apartado 4.6.2.1. Agentes climáticos (Ver tabla 4.6.2.2).

En función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, el agente ondas generadas por buques en tránsito se definirá:

a) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas

Para la verificación de la obra de atraque en condiciones normales de operación de la instalación mediante formulaciones deterministas o semiprobabilista, cuando las ondas generadas por los buques en tránsito sean relevantes para el modo de fallo analizado se definirán a través de valores representativos de las variables de estado que definen la onda de mayor altura máxima que actúa en el emplazamiento de la obra de atraque o amarre y en presencia de dicha obra o, en su caso, del buque amarrado. Dichos valores representativos tendrán la consideración de valores característicos o de combinación, en función de que las ondas de acompañamiento sean o no el agente variable predominante (Ver tabla 4.6.4.35).

A falta de registros en el emplazamiento en número y calidad contrastada, los valores característicos o de combinación de las variables de estado de la onda de acompañamiento en el emplazamiento de la obra de atraque serán los más desfavorables obtenidos a partir de las velocidades máximas y características de la flota previsible de buques en tránsito en las áreas adyacentes a la obra de atraque, definidas como vías de navegación para buques en tránsito, durante el periodo de tiempo considerado, así como de las condiciones físicas locales, por medio de modelos numéricos o físicos de validez reconocida para la reproducción de este fenómeno o por medio de los modelos de generación y propagación simplificados definidos en este apartado.

En ausencia de criterios de explotación de la instalación portuaria que limiten la velocidad máxima de los buques en tránsito, las velocidades y características de la flota previsible de buques en tránsito será definida por el Promotor de la instalación de igual forma que la prevista en esta Recomendación para la composición y características de la flota esperable de buques en la obra de atraque (Ver apartado 4.6.4.4.1), utilizando en este caso como parámetros representativos la velocidad máxima, la tipología y la manga de los buques, siempre que se consideren velocidades máximas diferentes según tipos y dimensiones de los buques. En el caso de que los buques que componen la flota prevista en tránsito no estén nominalmente identificados se adoptará la velocidad de los buques en tránsito como parámetro representativo principal.

Cuando la velocidad máxima esté limitada por las condiciones de explotación de la instalación y todos los buques de la flota esperable puedan alcanzarla, para la definición de la composición de la flota se considerará la manga como parámetro representativo principal. En esos casos las ondas generadas por buques en tránsito más desfavorables se considerarán asociadas con el buque en tránsito de mayor manga (Buque de manga máxima).

Los valores máximos usuales de la velocidad de los buques en canales de acceso y áreas portuarias se detallan en el apartado 7.2.3.4.2 de la ROM 3.1-99. En los casos en los que se considere que la velocidad máxima de los buques en tránsito esta limitada pero no está definida explícitamente por el Promotor se adoptarán velocidades de 7,5 m/s (15 nudos) en áreas exteriores y de 5 m/s (10 nudos) en áreas

interiores para la obtención de los valores característicos y de combinación de las variables de estado de las ondas generadas por buques en tránsito.

En condiciones extremas y excepcionales no se considerará la actuación de ondas generadas por buques en tránsito.

Los valores representativos del agente onda de acompañamiento para cada una de las condiciones de trabajo se resumen en la tabla 4.6.4.35.

Tabla 4.6.4.35. Valores representativos de las variables de estado del agente de ondas generadas por buque en tránsito

CONDICIÓN DE TRABAJO	VALOR CARACTERÍSTICO	VALOR DE COMBINACIÓN	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo normales Operativas (CT1)	Onda más desfavorable en el emplazamiento generada por la flota esperable de buques en tránsito 1)		—	—
Condiciones de Trabajo Extremas (CT2)	—	—	—	—
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental y extraordinaria (CT3,1 y CT3,2)	—	—	—	—
Condiciones de trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,3)	—	—	—	—
Notas 1) Cuando en una instalación portuaria esté limitada la velocidad máxima de los buques en tránsito por criterios de explotación, puede considerarse que las ondas de acompañamiento más desfavorables están asociadas con el buque en tránsito de mayor manga (Buque de manga maxima) navegando a dicha velocidad.				

Salvo casos excepcionales (por ejemplo, muy pequeña frecuencia de buques en tránsito que produzcan altos niveles de ondas de acompañamiento), por razones de eficiencia de la explotación portuaria no se considerará la posibilidad de que la operatividad de la instalación, para cualquiera de las condiciones operativas, quede limitada por las ondas generadas por los buques en tránsito. Es decir, en el caso de que las ondas de acompañamiento generadas limitaran la operatividad de la instalación es recomendable aumentar la limitación de la velocidad de los buques en tránsito o, en caso de que con la limitación de la velocidad no se alcanzara dicho objetivo, la realización de obras de abrigo y protección del atraque.

b) Para formulaciones probabilistas

Para la verificación de la obra de atraque, así como para la obtención de las cargas de atraque y amarre en condiciones de trabajo normales operativas, mediante formulaciones probabilistas, las funciones de densidad y de distribución de las variables de estado que definen el agente “ondas generadas por los buques en tránsito” pueden definirse como funciones derivadas de la/s función/nes de densidad de los parámetros representativos adoptados para definir la flota en tránsito esperable en las proximidades del puesto de atraque (Ver epígrafe a. de este apartado).

Dichas funciones derivadas se obtienen por medio del ajuste de funciones a las alturas de onda de altura máxima en el emplazamiento obtenidas como resultado de aplicar a cada conjunto de valores, generados de forma aleatoria (p.e. mediante el Método de Monte Carlo) a partir de las funciones que caracterizan la flota de buques en tránsito esperable en las proximidades del puesto de atraque, los modelos de generación y propagación de validez reconocida que permiten la reproducción de este fenómeno.

4.6.4.4.2.1.1. Acciones debidas a las ondas generadas por los buques en tránsito

Las acciones debidas a las ondas de acompañamiento sobre las obras de atraque, tanto actuando indirectamente a través del buque durante el atraque o amarrado como directamente ejerciendo fuerzas sobre la propia estructura o los rellenos, son equivalentes a las producidas por el oleaje o, en su caso, por las ondas largas de origen climático, por lo que para su formulación son de aplicación los apartados 4.6.2.1.1. d, 4.6.4.4.3 y 4.6.4.4.7 de esta Recomendación. De igual forma que en el caso del oleaje de origen climático, las acciones y demás efectos debidos a las ondas generadas por buques en tránsito no dependen únicamente de las características propias del oleaje incidente (altura, periodo y dirección) sino también de la tipología y dimensiones de la estructura y del régimen hidráulico en el emplazamiento resultante de la interacción de dicho oleaje con la estructura. A estos efectos, salvo en profundidades muy reducidas, en general también se considerará suficientemente válida para las ondas de acompañamiento la aplicación de la teoría lineal de ondas.

Las acciones debidas a las ondas generadas por buques en tránsito tendrán igual consideración que dicho agente. Por tanto, tendrán la consideración de no permanentes o variables.

4.6.4.4.3. ACCIONES DE ATRAQUE ($q_{v,42}$)

Las acciones de atraque son las cargas generadas entre un buque y la estructura de atraque durante las operaciones de atraque en condiciones operativas normales, como resultado de la interacción buque-estructura de atraque desde el momento en que ambos entran en contacto y hasta que dicho sistema alcanza el reposo.

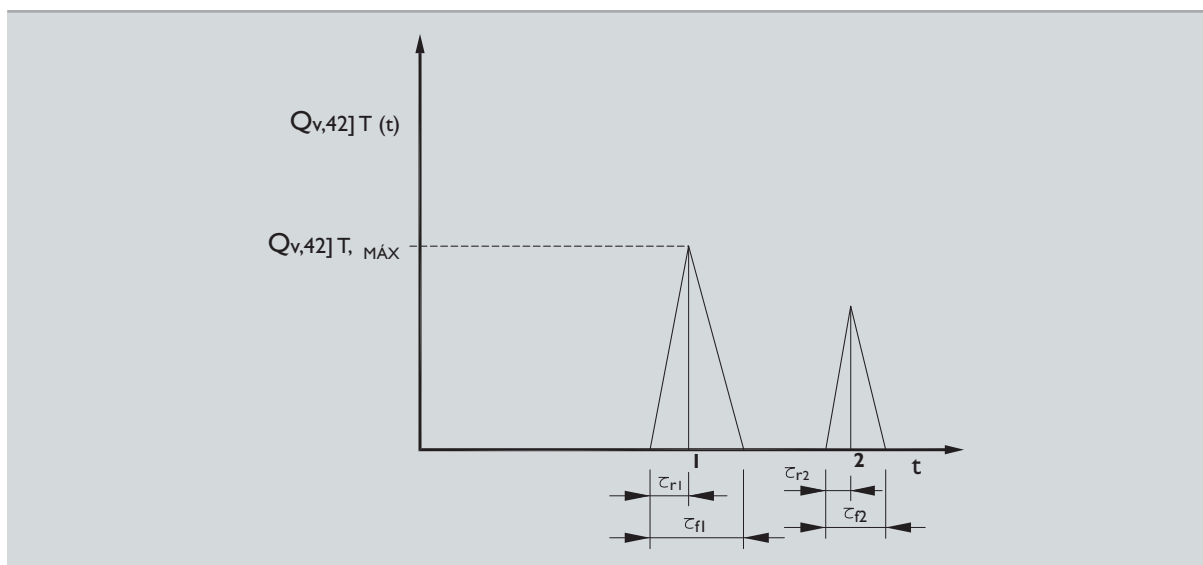
Estas acciones dependen fundamentalmente de la energía cinética desarrollada por el buque durante la maniobra de atraque y de la capacidad de absorción de esta energía por parte del sistema de atraque, el buque y el agua. A estos efectos, se denomina sistema de atraque al conjunto formado por la estructura de atraque y por el sistema de defensas cuando este último exista.

Los factores que inciden en las magnitudes, direcciones y punto de aplicación de dichas acciones son:

- ◆ Las características del buque, definido por sus parámetros geométricos y de capacidad o situación de carga, así como por sus parámetros estructurales, en particular la forma y capacidad resistente del casco.
- ◆ Las características del sistema de atraque, tanto en lo respecta a su capacidad de absorción de energía como a su interferencia con el buque durante la maniobra de atraque.
- ◆ Las condiciones y tipo de maniobra de atraque, tanto en lo que respecta al tipo de maniobras de aproximación y de atraque (atraque lateral mediante traslación transversal preponderante, atraque lateral mediante traslación longitudinal preponderante o atraque por proa o popa) como a los medios empleados en las mismas (utilización o no de remolcadores, disponibilidad de hélices transversales en los buques, ...).
- ◆ Los efectos de los agentes del medio físico, particularmente los niveles de las aguas, el viento, las corrientes y el oleaje, así como de otros agentes operativos (p.e. ondas generadas por los buques en tránsito) por su incidencia tanto en las maniobras de atraque (acciones externas sobre el buque que condicionan su comportamiento durante la maniobra, así como la energía cinética desarrollada) como en la respuesta del sistema de atraque (situación del punto de contacto, ...).
- ◆ La dependencia del factor humano (p.e. familiaridad del capitán del buque con el atraque).

Las acciones de atraque pueden considerarse como acciones variables de carácter impulsivo, estando la serie temporal de su componente dominante constituida por una sucesión de impactos de corta duración hasta la finalización de la maniobra de atraque y alcanzarse el reposo. Cada impacto puede describirse por los parámetros carga máxima ($Q_{v,42[T, max]}$), tiempo de crecimiento (τ_r) y duración (τ_f) del impacto (Ver figura 4.6.4.6). El orden de magnitud de los tiempos de crecimiento es de milisegundos.

La respuesta del sistema de atraque frente a la actuación de esta carga es dinámica, alcanzando un valor máximo en el momento del impacto inicial, reduciéndose con posterioridad cíclicamente, debido a los sucesivos ciclos de compresión-descompresión que se producen en el sistema de atraque, hasta la posición de reposo.

Figura 4.6.4.6. Descripción temporal de la componente dominante de las acciones de atraque

Los efectos dinámicos producidos debidos a las acciones de atraque de carácter impulsivo podrán considerarse simplificadaamente admitiendo que la respuesta del sistema de atraque ante su actuación es susceptible de ser tratada en términos de análisis estático por medio de la equiparación de dichas cargas a un sistema estático de cargas equivalentes. Salvo en el caso de pequeñas embarcaciones, debido a las condiciones usuales en las que se desarrollan las operaciones de aproximación de los buques al puesto de atraque y la propia maniobra de atraque⁽⁵⁹⁾, las cargas estáticas equivalentes se obtendrán considerando un único punto de contacto, mediante la idealización del sistema de atraque a un sistema de un grado de libertad (aproximación a un oscilador simple) y el planteamiento de una ecuación de conservación energética entre la energía cedida en el impacto inicial (la parte de la energía cinética desarrollada por el buque que alcanza el sistema de atraque en el momento del impacto más intenso) y la absorbida por el sistema de atraque hasta el momento de máxima deformación (deformación dinámica de pico). Dicha simplificación se considera suficiente para obras de atraque en las que el impacto coincida prácticamente con su centro de gravedad o para obras de atraque lineales en las que el punto de impacto esté suficientemente alejado de los extremos, siempre que el periodo propio de oscilación del sistema de atraque sea manifiestamente mayor que la duración de la carga de impacto. Esta última situación se considera en general como suficientemente aceptable para la mayor parte de las obras de atraque siempre que, o bien sean flexibles, o bien dispongan de defensas flexibles en las que la mayor parte de la energía pueda ser absorbida a través de la deformación de la defensa.

Para estudios más precisos, así como para aquellos casos en los que las premisas anteriores no se cumplan, deberán adoptarse métodos específicos de análisis dinámico (estudios en modelo, idealización a amortiguadores múltiples, etc...), realizando un análisis temporal paso a paso, considerando de forma completa la ley fuerza-tiempo de la acción de atraque.

A igualdad de energía cedida, es evidente que cuanto más rígido sea el sistema de atraque, mayores serán las cargas estáticas equivalentes.

(59) Las maniobras usuales de aproximación y atraque de los buques asociadas a los procedimientos incluidos en esta Recomendación para la definición de las acciones de atraque, salvo los métodos numéricos y experimentales, consideran que los buques alcanzan la situación de parada en las proximidades del puesto de atraque, virando posteriormente si es necesario hasta situarse prácticamente paralelos a la línea de atraque (Ver ROM 3.1-99). En esta posición, con ayuda de los sistemas de amarre y otros medios propios (p.e. hélices transversales) o externos (p.e. remolcadores, ...), mediante una traslación transversal o una traslación longitudinal preponderante hacen un primer contacto con la línea de atraque en un único punto con un pequeño ángulo de inclinación, para rotar posteriormente alrededor de ese punto hasta su completa alineación con el atraque (atraque lateral) y, en su caso, posterior traslación longitudinal cuando el atraque sea por proa o popa. Este último caso es representativo fundamentalmente en el caso de buques ro-ro y ferris con rampas en proa o popa.

La descripción completa de las cargas estáticas equivalentes que caracterizan a las acciones de atraque puede realizarse a través de una acción vectorial con las siguientes componentes:

- ◆ Fuerza de impacto, perpendicular al plano que define el frente de atraque ($Q_{v,42}T$). Esta fuerza es la componente dominante de las acciones de atraque.
- ◆ Fuerza de rozamiento debida al ángulo de inclinación y a los movimientos del buque en el punto de contacto, situada en la superficie de contacto entre el casco del buque y el sistema de atraque ($Q_{v,42}L$).

La presentación de las acciones de atraque define los estados representativos de uno de los ciclos de operatividad de la instalación de atraque, el correspondiente a las operaciones de atraque en condiciones normales operativas, considerándose que dichas acciones son el agente de uso y explotación predominante en dicha condición de trabajo. No se tomará en consideración esta acción en ningún otro estado representativo de otros ciclos de operatividad por razones de incompatibilidad operativa. Tampoco se tomará en consideración en los ciclos de solicitud asociados a la actuación de agentes climáticos extremos (condiciones de trabajo extremas) o extraordinarios (condiciones excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario), salvo que no se limite las operaciones de atraque para alguno de dichos agentes. Asimismo tampoco se tomará en consideración en los ciclos de solicitud asociados con otros agentes extraordinarios o insólitos (condiciones de trabajo excepcionales o sísmicas) debido a la corta duración de la actuación de la acción. Por dicha razón, en los estados representativos correspondientes a las operaciones de atraque en condiciones normales operativas puede suponerse simplificada que los agentes independientes de actuación simultánea tienen el carácter de permanentes en dichos estados.

En dichos estados, se considerarán de actuación simultánea con las cargas de atraque todos los agentes de uso y explotación, con los valores representativos o, en su caso, las funciones de distribución compatibles con la situación operativa y con los de los agentes climáticos de actuación simultánea que definen el estado meteorológico correspondiente a la condición de trabajo considerada en la que actúa la carga de atraque. No obstante, debido a su incompatibilidad operativa, las otras cargas de operaciones de los buques no se considerarán de actuación simultánea en dichos estados, excepto las debidas a los efectos hidrodinámicos inducidos por los buques en tránsito, las debidas a las hélices y otros equipos de propulsión de los buques y las cargas de amarre en aquellos casos en los que la estructura de atraque pueda recibir las cargas de amarre de atraques contiguos y/o los criterios de explotación de la instalación consideren específicamente la utilización de líneas de amarre como elementos auxiliares durante las maniobras de atraque.

Las acciones de atraque están asociadas con las condiciones más desfavorables en las que se desarrollan las maniobras de atraque consideradas como normales. Debe diferenciarse completamente de las acciones generadas por el impacto de buques debidas a situaciones accidentales durante la maniobra de atraque: fallos mecánicos del buque o de los remolcadores, rotura de amarras, cambios bruscos de las condiciones medioambientales, errores humanos, ... que pueden dar lugar a impactos anormales. Esta acción se considera en esta Recomendación como el agente "Impacto accidental de buque durante las maniobras de atraque" (Ver apartado 4.6.4.4.4).

En general, no será necesaria la consideración de las acciones de atraque para la verificación de modos de fallo "globales" de pérdida de equilibrio estático o inestabilidad externa en obras de atraque fijas cerradas con rellenos en su trasdós, dado que su actuación es favorable al estar este tipo de estructuras desequilibradas en el sentido contrario al de la acción de atraque. Por el contrario, en general esta acción será relevante para la verificación de obras fijas cerradas sin rellenos en el trasdós, en obras fijas abiertas y en obras flotantes, así como para la verificación de los modos de fallo locales de los elementos estructurales que formen parte del sistemas de atraque (defensas, vigas y muros de coronación, superestructuras, ...).

Las acciones de atraque se considerarán cargas compuestas al ser dependientes de otros agentes, en particular del buque, de los agentes climáticos y de otros agentes que puedan presentarse simultáneamente en la misma situación operativa (p.e. ondas generadas por buques en tránsito), por lo que pueden considerarse que están correlacionadas con estos agentes, así como con otras acciones que se presenten en la condición de trabajo correspondiente a las operaciones de atraque y que dependan de alguno de estos agentes, en las condiciones de simultaneidad y compatibilidad establecidas para los mismos en dicha condición de trabajo. Para su definición se considerará que el factor predominante es el tamaño, composición y características de la flota de

buques en el atraque (Ver apartado 4.6.4.4.1. Definición de la flota de buques en el atraque. Buques de proyecto). Dada su demostrada relación de dependencia con el tamaño y características del buque, se considerarán los factores relacionados con las condiciones y tipos de maniobra de atraque (entre los que se encuentra la magnitud y ángulo de la velocidad de atraque) como factores dependientes del buque. El resto de factores que intervienen en la determinación de la acción se considerarán independientes del buque.

4.6.4.4.3.1. Métodos para la determinación de las acciones de atraque

De acuerdo con lo establecido en esta Recomendación a los efectos de la consideración simplificada de los efectos dinámicos producidos por las acciones de atraque, estas acciones se obtendrán a partir de la cuantificación de la energía cinética desarrollada por la flota de buques en el atraque en las condiciones climáticas y operativas más desfavorables establecidas como límite para poder realizar las maniobras de atraque en el emplazamiento en condiciones definidas como normales y la proporción de la misma cedida al sistema de atraque, así como de la capacidad de absorción de esa energía por parte de dicho sistema de atraque.

4.6.4.4.3.1.1. Definición de las condiciones límite de operatividad para la realización de las maniobras de atraque

La determinación de las acciones de atraque asociadas a la flota de buques esperables en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos establecidas por el Promotor de la instalación, exige de éste la definición previa de las condiciones climáticas y operativas límite que se consideran para la realización de las maniobras de atraque de cada uno de dichos buques, así como los medios auxiliares necesarios (remolcadores, ...) para la realización de dichas operaciones en función de las condiciones climáticas hasta alcanzar las condiciones límites establecidas.

En cualquier caso, las condiciones climáticas límite de operatividad de cada uno de los buques para la realización de las operaciones de atraque coincidirán con las que producen la suspensión de la accesibilidad marítima para dicho buque, ya que es conveniente que un buque pueda atracar siempre que pueda acceder al puesto de atraque para no aumentar innecesariamente los tiempos de espera y, por tanto, para no reducir el nivel de servicio del atraque por causas ajenas a la ocupación del mismo. No obstante, cuando las condiciones límite para la permanencia del buque en el atraque asociadas a una variable climática considerada como predominante sean por cualquier causa más limitativas que las de accesibilidad marítima, las condiciones límite de operatividad para la realización de las operaciones de atraque asociadas a dicha variable coincidirán con las correspondientes a la permanencia del buque en el atraque, ya que un buque debe poder permanecer en el atraque siempre que pueda atracar en el mismo.

La definición de las condiciones límite de operatividad asociadas con la accesibilidad marítima puede realizarse según lo dispuesto en la ROM 3.1-99. Asimismo la definición de las condiciones límite de operatividad para la permanencia del buque en el atraque se desarrollan en el apartado 4.6.4.4.7.1.3. a_4 de esta Recomendación.

No obstante lo anterior, cuando se trate de un proceso de verificación de una obra de atraque ya construida para nuevas condiciones de explotación de la instalación, deberá considerarse adicionalmente para la determinación de las condiciones límite de operatividad para la realización de las operaciones de atraque la suspensión de las mismas por superación de la máxima carga admisible en alguno de los elementos del sistema de atraque, particularmente de las defensas, por si fueran más restrictivos. En este caso, los umbrales de operatividad de las variables que caracterizan los agentes actuantes se definirán analizando el valor límite de cada variable considerada como predominante a partir del cual se alcanza la máxima carga admisible en alguno de los elementos que conforman el sistema de atraque. A estos efectos, se adoptarán como máxima carga admisible en las defensas, la menor entre la correspondiente al desplazamiento maximal de la defensa que define el dominio admisible y la carga correspondiente al máximo valor admisible de la presión sobre el casco del buque (Ver tabla 4.6.4.40).

Al igual que para el resto de condiciones de trabajo operativas, los estados meteorológicos que definen las condiciones límite de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de atraque se definirán por el valor umbral de operatividad para la realización de las operaciones de atraque de cada una de las

variables que caracterizan a los agentes climáticos u operativos actuantes, consideradas sucesivamente como predominantes, diferenciados, en su caso, por sectores direccionales de actuación, y por los valores representativos de compatibilidad en el emplazamiento, con el valor y dirección adoptados para la variable predominante, del resto de variables climáticas de actuación simultánea (Ver apartado 4.1.1.1.c). Las variables de los agentes climáticos y operativos para los cuales no se hayan definido condiciones límite en una dirección, cuando se consideren como predominantes, no serán causa de limitación de las operaciones de atraque, debiéndose en ese caso considerar acciones de atraque en las condiciones extremas y excepcionales definidas por dicha variable.

4.6.4.4.3.1.2. Cuantificación de las energías cinéticas cedidas al sistema de atraque (E_f)

La cuantificación de dichas energías puede realizarse a través de los siguientes métodos:

- ◆ Método estadístico.
- ◆ Modelos matemáticos.
- ◆ Modelos experimentales.

a) Método estadístico

El método estadístico está basado en la disponibilidad de registros fiables, completos y suficientes de la energía absorbida por el sistema de atraque durante la maniobra de atraque, procedentes de obras de atraque preexistentes, para los diferentes tipos y características de buques que utilizan el atraque en las distintas condiciones climáticas y operativas normales en que se realiza dicha maniobra. Estas mediciones permitirán disponer, para cada tipo de buque con características y condiciones de carga homogéneas que utiliza el atraque, las funciones de densidad y distribución conjunta de las energías cedidas y de las distintas condiciones climáticas y operativas en las que tiene lugar el atraque.

En la actualidad hay disponible tecnología suficiente para conocer la energía absorbida por el sistema de atraque durante las maniobras de atraque a través del registro de las compresiones en las defensas procedentes de medidores de distancia láser o cámaras digitales situadas en la obra de atraque y de su conversión en datos de energía en función de las curvas de comportamiento de las defensas instaladas. La implantación de estos sistemas de registro es cada vez más frecuente como parte de sistemas más completos de gestión de la seguridad del atraque y amarre y de las operaciones de carga y descarga, particularmente en terminales de mercancías peligrosas.

Este método integra automáticamente todos los factores que inciden en la valoración de la energía cinética absorbida por el sistema de atraque: características del buque, características del sistema de atraque, condiciones y tipo de maniobra de atraque, efectos del medio físico y, en particular, los factores humanos de difícil toma en consideración con otros métodos.

Mediante este método, en función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, las energías cedidas durante la maniobra de atraque en condiciones de trabajo normales operativas correspondiente a la realización de dicha maniobra se definirán:

■ Para formulaciones deterministas y determinista-probabilista

Para formulaciones deterministas y determinista-probabilista, para cada tipo, características y situación de carga del buque diferenciados que utiliza el atraque, se definirá el valor representativo de la energía absorbida por el sistema de atraque como el valor más desfavorable correspondiente al 95% de probabilidad de no excedencia en las funciones de distribución de la variable “energía cedida” condicionadas a la presentación de cada una de las condiciones climáticas (favorables, moderadas y/o desfavorables, definidas de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36) en las que se considera la realización de maniobras de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas. Aunque no necesariamente, generalmente para cada tipo, característica y situación de

carga del buque, siempre que se empleen los mismos medios auxiliares para la maniobra de atraque, el valor más desfavorable se corresponderá con las condiciones climáticas en las que se clasifican los límites operativos para la realización de la maniobra de atraque.

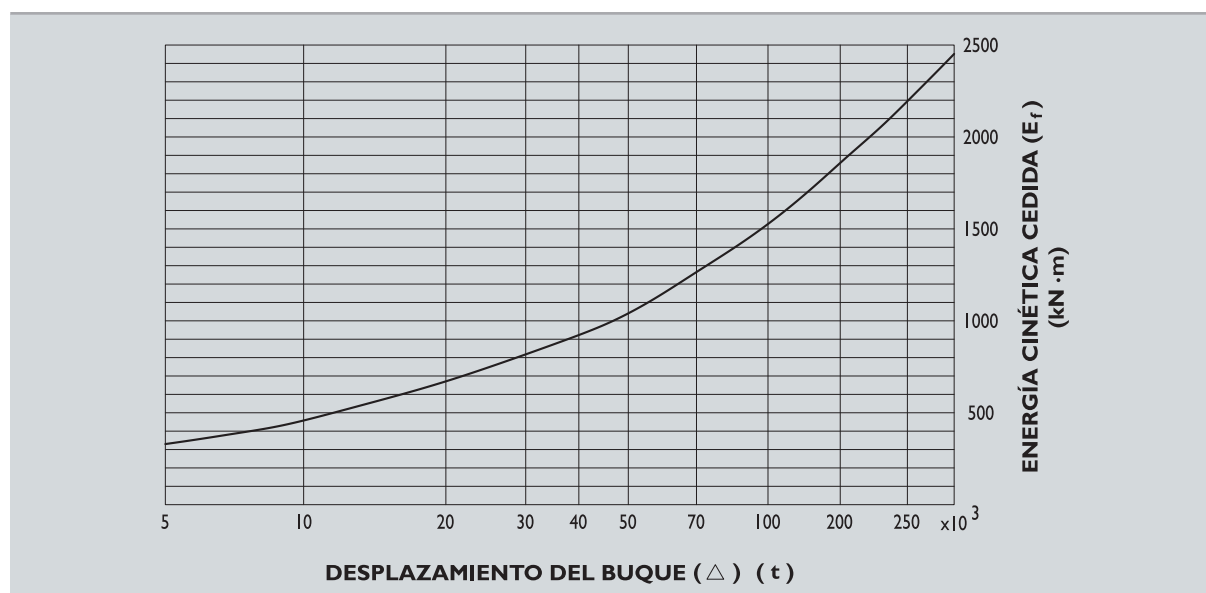
Para cada tipo de buque y situación de carga, dichas funciones pueden obtenerse a partir de la función de densidad conjunta energía cedida/condiciones climáticas y operativas en las que se produce el atraque realizada a partir de los registros en el emplazamiento.

Cuando la flota de buques esperada en el atraque esté formada por buques de tipos, características y situaciones de carga diferentes deberá definirse el valor representativo de la energía cedida correspondiente a cada uno de ellos debido a que, entre otros, por condiciones y medios auxiliares utilizados en la maniobra no necesariamente la máxima energía absorbida por el sistema de atraque debe estar asociada con el buque de máximo desplazamiento.

Se adoptará como valor característico de la energía cedida en condiciones normales operativas correspondientes a la realización de la maniobra de atraque el más desfavorable de los valores representativos.

Mediante este procedimiento, algunos puertos que disponen de registros fiables de energías cedidas al sistema de atraque durante las maniobras de atraque han desarrollado curvas “desplazamiento del buque/energía absorbida por el sistema de atraque” con el objetivo de sistematizar los valores representativos de la energía cedida asociada a cada buque convencional en las condiciones climáticas y operacionales locales en las que se desarrollan las operaciones de atraque. En España no se disponen en la actualidad de mediciones suficientes y fiables publicadas que hayan permitido la elaboración de este tipo de gráficos. En la figura 4.6.4.7 se incluye como ejemplo la obtenida en el puerto de Rotterdam, pudiendo utilizarse únicamente como una referencia sobre los órdenes de magnitud de las energías cinéticas cedidas al sistema de atraque por los buques durante las maniobras de atraque.

Figura 4.6.4.7. Valor representativo de la energía cinética absorbida por el sistema de atraque durante la maniobra de atraque en condiciones normales operativas, en función del desplazamiento del buque, obtenida por métodos estadísticos (Puerto de Rotterdam)



■ *Para formulaciones probabilistas*

Para formulaciones probabilistas de las ecuaciones de verificación, para cada tipo, características y situación de carga del buque, la energía cinética absorbida por el sistema de atraque se definirá por

medido de las funciones de distribución de la energía cedida por dichos buques, condicionadas a la presentación de cada una de las condiciones climáticas (favorables, moderadas y/o desfavorables, definidas de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36) en las que se considera la realización de las maniobras de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas.

En aquellos casos en los que la presentación de una variable de un agente climático no sea causa de limitación de las maniobras de atraque (Ver apartado 4.6.4.4.3.1.1.), en general no será posible mediante métodos estadísticos la definición suficientemente precisa de los valores representativos de compatibilidad de las energías cinéticas cedidas al sistema de atraque por un determinado buque a tomar en consideración en condiciones extremas, o excepcionales debidas a la presentación de un agente climático de carácter extraordinario, al no estar normalmente disponibles, o estar disponibles en un número insuficiente de años, registros correspondientes a estados meteorológicos que definen estas condiciones extremas o excepcionales de proyecto (condiciones de temporal). No obstante lo anterior, en el caso de que existan registros disponibles de las energías cedidas al sistema de atraque simultáneamente con registros de los agentes climáticos en condiciones de temporal, para cada tipo de buque y situación de carga, para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas los valores representativos de la energía cedida en estas condiciones podrán obtenerse a partir de la definición de las funciones de distribución de dicho parámetro condicionadas a los valores representativos en condiciones extremas o excepcionales adoptados para la variable climática considerada como predominante para el modo de fallo analizado. El valor de compatibilidad de la energía cedida en estas condiciones de trabajo será el más desfavorable para el modo de fallo analizado entre los valores asociados al cuantil del 85% en dichas funciones de distribución, correspondientes a cada uno de los buques y situación de carga de los mismos pertenecientes a la flota esperable en el atraque.

Para formulaciones probabilistas, para cada tipo, característica y situación de carga de buque, la energía cedida en condiciones extremas y excepcionales definidas por la variable que no es causa de limitación de las maniobras de atraque se definirá a través de sus funciones de distribución, condicionadas a cada uno de los valores extremos de dicha variable.

Dada la estrecha dependencia de estas mediciones con las condiciones locales existentes en el emplazamiento, con las características tipológicas y físicas del sistema de atraque y con los medios auxiliares utilizados durante la maniobra de atraque, la extrapolación de las funciones de densidad y distribución, los valores característicos y, en su caso, de compatibilidad de la energía cedida al sistema de atraque asociados a las mismas, así como en su caso las curvas “desplazamiento/energía cedida al sistema de atraque” no pueden generalizarse y son únicamente aplicables en el emplazamiento en el que se han obtenido los registros o en emplazamientos en los que se den condiciones climáticas y operativas, así como características físicas y tipológicas del sistema de atraque, similares y se utilicen los mismos medios auxiliares para la maniobra de atraque. En cualquier caso, para su utilización en otros emplazamientos deberá valorarse expresamente si pueden considerarse suficientemente fiables y representativas para los mismos.

b) Modelos matemáticos

Los modelos matemáticos son actualmente los más utilizados para la determinación de la energía cedida al sistema de atraque debido a que no es muy común en la actualidad disponer de registros fiables, completos y suficientes de energías cinéticas en un emplazamiento que permitan la aplicación de los modelos estadísticos y, por tanto, su extrapolación a nuevos emplazamientos con configuraciones físicas del sistema de atraque y características climáticas y operativas similares. Los modelos matemáticos pueden clasificarse en:

- Modelos analíticos.
- Modelos numéricos.

Tradicionalmente se han utilizado modelos analíticos sencillos para la evaluación de la energía debida al atraque. En general, puede considerarse que la utilización de estos modelos da resultados suficientemente ajustados a la realidad cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- La influencia de los agentes externos (en especial los agentes del medio físico) en la maniobra de atraque es poco significativa. Esta hipótesis no es admisible en la verificación de obras de atraque situadas en áreas costeras exteriores o no protegidas, así como en estuarios o dársenas en los que se produzcan fuertes corrientes de marea o de regímenes fluviales).
- El movimiento del buque durante la maniobra de aproximación inicial del buque al atraque es preponderantemente una traslación transversal o longitudinal sin rotación. Esta simplificación es admisible en la mayor parte de los casos prácticos, salvo cuando se trata del atraque de pequeñas embarcaciones.
- En estructuras de atraque continuas el punto de impacto está suficientemente alejado de los extremos y en estructuras de atraque discontinuas el punto de impacto coincide aproximadamente con su centro de gravedad.

Por tanto, se recomienda el uso de modelos numéricos más avanzados cuando las condiciones físicas y medioambientales en las que se considere que puede producirse la maniobra de atraque son especialmente adversas, particularmente en áreas no protegidas (p.e. terminales offshore) o en estuarios en las que por condiciones de explotación se admita que puedan presentarse importantes niveles de oleaje y/o de corrientes durante las maniobras de atraque. También se recomienda la utilización de modelos numéricos en la verificación de sistemas de atraque no convencionales o cuando la maniobra de atraque sea especialmente compleja, en las que el factor humano resulta más relevante. Dichos modelos están basados en modelos de simulación de maniobras del buque, los cuales permiten obtener los movimientos del buque en el dominio del tiempo durante las maniobras de atraque en las diferentes condiciones medioambientales y operativas en las que el Promotor considera que puede desarrollarse la operación, integrando en muchos casos el factor humano. Estos modelos permiten también obtener como resultado la magnitud y dirección de la velocidad del buque en el momento del impacto y, por tanto, valorar de forma mucho más precisa la energía cedida al sistema de atraque, e incluso directamente las fuerzas de impacto y rozamiento.

El carácter determinista o probabilista de los modelos matemáticos vendrá condicionado por la definición de los parámetros o factores más relevantes que inciden en la determinación de la energía cinética cedida por los buques bien mediante valores representativos o a través de sus modelos de probabilidad, permitiendo en este último caso tratar la energía cedida en el atraque o directamente las acciones de atraque como una variable aleatoria y ajustar a la misma una función de probabilidad. En aquellos modelos numéricos que incorporen la actuación humana de forma no automática (p.e. simuladores de maniobra en tiempo real), la influencia de este factor también puede considerarse integrada directamente en los resultados del modelo. En el caso que se desee tomar en consideración de forma más específica la incidencia del factor humano para definir el modelo de probabilidad de la energía cinética cedida, deberán obtenerse adicionalmente para cada tipo, características y situación de carga de los buques de la flota esperable en el atraque, las funciones de distribución de la energía cinética condicionadas a cada una de las condiciones climáticas y operativas, mediante la repetición del proceso de simulación de la maniobra de atraque a igualdad del resto de factores.

b₁) Modelos analíticos

- b₁₁)* Determinación de la energía cinética cedida al sistema de atraque por un buque durante las maniobras de atraque

El método analítico más ampliamente aceptado permite valorar la energía cinética cedida al sistema de atraque por un buque en un determinado emplazamiento mediante las siguientes formulaciones, diferenciadas en función del tipo de atraque y de las características de la maniobra de atraque desarrollada.

- b₁₁₁)* *Para atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante en obras de atraque fijas continuas*

Este es el tipo de maniobra utilizada por la mayor parte de los buques para el atraque en obras de atraque fijas continuas, salvo buques ferries y ro-ro que pueden atracar median-

te otros tipos de maniobra dependiendo de la ubicación de sus rampas y, en su caso, de las pasarelas para embarque y desembarque de pasajeros. A falta de información más detallada por parte del Promotor, se considerará que todos los buques atracan en las obras de atraque continuas lateralmente mediante traslación transversal preponderante, incluyendo los buques ferry y ro-ro que utilicen rampas laterales o pasarelas de embarque (Ver figura 4.6.4.8).

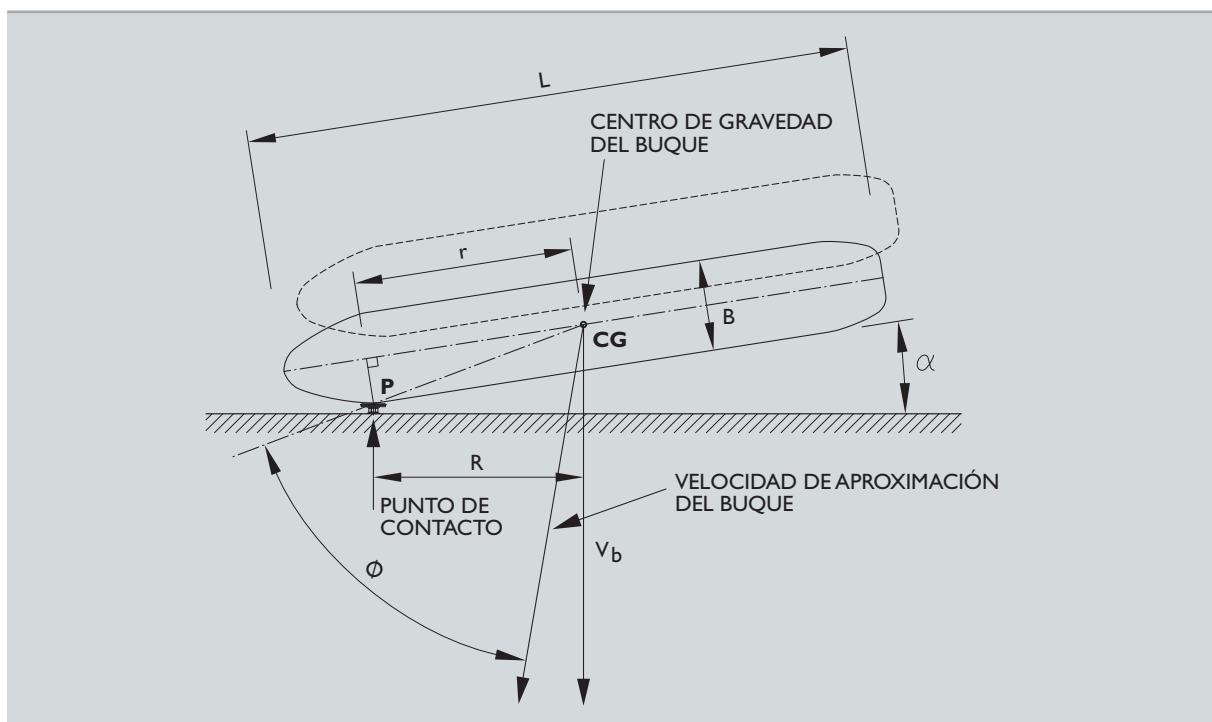
Para atraques laterales o de costado mediante traslación transversal preponderante en obras de atraque fijas continuas, la energía cinética cedida por un buque al sistema de atraque (E_f) puede determinarse mediante la expresión:

$$E_f = E_b \cdot C_b = \left[\frac{1}{2} (C_m M_b) \cdot (V_b)^2 \right] C_e \cdot C_g \cdot C_c \cdot C_s = \left[\frac{1}{2} (C_m \Delta) \cdot (V_b)^2 \right] C_e \cdot C_g \cdot C_c \cdot C_s$$

siendo:

- E_b : Energía cinética desarrollada por el buque durante el atraque ($kN.m$).
- C_b : Coeficiente ($C_b = C_e C_g C_c C_s$) de atraque (adimensional).
- $C_m M_b$: Masa movilizada por el buque durante el atraque.
- M_b : Masa del buque ($M_b = \Delta/g$).
- Δ : Desplazamiento del buque en la condición de carga considerada (kN).
- g : Aceleración de la gravedad. ($9,8 \text{ m/s}^2$).
- C_m : Coeficiente de masa hidrodinámica (adimensional).
- V_b : Componente normal a la línea de atraque de la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto (m/s).
- C_e : Coeficiente de excentricidad (adimensional).
- C_g : Coeficiente geométrico del buque (adimensional).
- C_c : Coeficiente de configuración del atraque (adimensional).
- C_s : Coeficiente de rigidez del sistema de atraque (adimensional).

Figura 4.6.4.8. Atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante a obras de atraque fijas continuas



◆ Coeficiente de masa hidrodinámica (C_m)

El coeficiente de masa hidrodinámica tiene en cuenta el efecto producido por la masa de agua que se moviliza conjuntamente con el buque durante la maniobra de atraque y que da lugar a un aumento efectivo de la masa que interviene en la valoración de la energía de atraque.

Este coeficiente se define como el cociente entre la masa total del sistema (masa del buque + masa de agua movilizada) y la masa del buque [$C_m = (M_b + M_w)/M_b$].

El coeficiente C_m depende fundamentalmente del resguardo bajo la quilla y en menor medida de las dimensiones y configuración del buque bajo la superficie del agua (relación calado/manga principalmente), del sentido de las corrientes, de la velocidad del atraque, de las características de la maniobra de atraque y de la influencia del tipo y rigidez del sistema de atraque en la deceleración del movimiento del buque.

Existen en la literatura técnica una gran variedad de fórmulas para la definición del coeficiente C_m (Vasco Costa, Ueda, Stelson, Saurin, Rupert, etc...) resultado del ajuste de datos procedentes de estudios en modelo o en prototipo concretos. Ninguna de las fórmulas tiene una validez general para todas las condiciones, por lo que debe asegurarse que, en su caso, cada una de ellas se aplica en su rango de validez. Dada la dispersión de valores, a menos que el proyectista justifique la utilización de otros valores se recomiendan con carácter general para buques convencionales los siguientes valores:

- $C_m = 1,5$ para resguardos brutos bajo quilla mayores que la mitad del calado estático del buque (Resguardo bruto $> 0,5D_e$)
- $C_m = 1,8$ para resguardos brutos bajo quilla menores que 0,1 el calado estático del buque (Resguardo bruto $< 0,1D_e$)
- Interpolar linealmente en el caso de valores intermedios del resguardo bruto.

Para catamaranes y buques de doble casco, el coeficiente de masa hidrodinámica puede ser significativamente mayor que el correspondiente a monocascos de similar desplazamiento. En estos casos se recomienda solicitar dicho dato al astillero o realizar ensayos específicos en modelo.

Mediante este modelo analítico, tanto si la energía cinética cedida al sistema de atraque se formula con carácter determinista o semiprobabilista como probabilista, el valor adoptado para este parámetro tendrá la consideración de valor nominal correspondiente a valores frecuentes (probabilidad de no exceedencia del 85%), dado que su rango de variación es poco significativo para la determinación de la energía cinética cedida en relación con otros parámetros que intervienen en la formulación.

◆ Componente normal de la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto (V_b)

La velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto es el factor más determinante para la valoración de la energía cinética del buque durante el atraque al intervenir al cuadrado en la formulación y, por tanto, es muy sensible a las variaciones de dicho parámetro.

La magnitud de la velocidad de aproximación depende de un gran número de factores en mayor o menor medida:

- Tamaño del buque: en general, la velocidad de aproximación de los buques es inversamente proporcional a su eslora y desplazamiento.
- Tipo de buque en particular en lo que respecta a la magnitud de las áreas emergidas: buques con mayor superficie expuesta al viento (cruceiros, transportadores de coches, ...) suelen presentar mayores velocidades de aproximación al ser menos controlables frente al viento.
- Situación de carga del buque: la velocidad de aproximación es proporcional al resguardo bajo quilla. Por dicha razón un buque a plena carga suele presentar velocidades de aproximación menores que el mismo buque en condiciones de carga parcial.

- Tipo de carga: Buques que transportan mercancías peligrosas atracan en condiciones más controladas, por lo que a igualdad de otras condiciones es esperable que su velocidad de aproximación sea más reducida.
- Características de maniobrabilidad náutica del buque: buques con hélices transversales u otros dispositivos que mejoren sus condiciones de maniobrabilidad suelen presentar, a igualdad de las restantes condiciones, menores velocidades de aproximación al poder controlar mejor el buque durante la maniobra.
- Frecuencia de llegadas: en atraques con alta frecuencia de llegada suelen presentarse mayores velocidades de aproximación.
- Condiciones medioambientales en el emplazamiento: condiciones de oleaje, viento y corrientes más desfavorables dan lugar a mayores velocidades de aproximación dadas las mayores dificultades en controlar el buque.
- Utilización de medios auxiliares en la maniobra de atraque como remolcadores, amarras u otros dispositivos de ayuda al atraque: la utilización de estos medios en número y potencia adecuada reduce la velocidad de aproximación.
- Dificultad de aproximación a la instalación de atraque: atraques situados en emplazamientos que presentan dificultades para la accesibilidad y maniobra de los buques dan lugar a mayores velocidades de aproximación.
- Factor humano: experiencia del capitán del buque y, en su caso, del remolcador, existencia de servicio de practica, ...

La influencia de cada uno de estos factores en la definición de la velocidad de aproximación es de muy difícil cuantificación y sistematización por lo que es recomendable que ésta se determine a partir de la experiencia local existente para atraques de similares características y condiciones de utilización, sobre la base, si es posible, de datos registrados “in situ” o en emplazamientos cuyas condiciones sean comparables. Aunque la existencia de estos datos es todavía escasa, en los últimos años han empezado a instalarse sistemáticamente en atraques especializados, particularmente para productos petrolíferos, químicos y gases licuados, sistemas de control de la aproximación al atraque para mejorar las condiciones de seguridad del atraque, que registran la velocidad de aproximación, por lo que en el futuro la información disponible será más abundante y fiable para ser utilizada en la definición de la velocidad de aproximación en atraques similares. También pueden ser útiles a estos efectos los datos registrados por los radares situados en las estaciones de control o gestión del tráfico portuario.

En función de cómo se formule la energía cinética cedida al sistema de atraque mediante este modelo analítico, las velocidades de aproximación del buque en el momento del impacto se definirán:

- *Para formulaciones de la energía cinética de carácter determinista y determinista-probabilista*

Si se disponen de registros fiables, completos, suficientes y representativos respecto a las velocidades de aproximación de la flota esperable de buques en el atraque o en atraques comparables, o de resultados igualmente completos, fiables y representativos obtenidos por medio de modelos numéricos o experimentales (Ver epígrafes b_2 y c de este apartado), a partir de los cuales obtener un modelo de probabilidad de este parámetro, para cada tipo, característica y situación de carga del buque se adoptará como valor representativo de la velocidad de aproximación en condiciones de trabajo operativas correspondiente al estado límite de realización de las maniobras de atraque el valor más desfavorable correspondiente al 95% de probabilidad de no excedencia en las funciones de distribución de la variable velocidad de aproximación, condicionadas a la presentación de cada una de las condiciones climáticas (favorables, moderadas y/o desfavorables, definidas de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36) en las que se considera la realización de maniobras de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas. Lógicamente, no podrán definirse las funciones de distribución condicionadas a condiciones climáticas que superen los límites de operatividad adoptados para las maniobras de atraque.

Para cada tipo, característica y situación de carga del buque, en el caso de que, de acuerdo con los criterios de explotación, las operaciones de atraque se realicen con los mismos medios auxiliares (p.e.

con o sin remolcadores) independientemente de las condiciones climáticas, el valor más desfavorable de la velocidad de aproximación se corresponderá con la condición climática más desfavorable de entre las que se puede realizar las maniobras de atraque (condiciones límite de operatividad).

En aquellos casos en los que la presentación de una variable de un agente climático no sea causa de limitación de las maniobras de atraque, para cada tipo, característica y situación de carga de buque, el valor representativo de la velocidad de aproximación en las condiciones extremas y excepcionales asociadas con dicha variable considerada como predominante, será el correspondiente al 85% de probabilidad de no excedencia en la función de distribución de la variable velocidad de aproximación, condicionada a las condiciones climáticas definidas por el valor representativo en condiciones extremas o excepcionales adoptado para la variable climática que define estas condiciones de trabajo (Ver apartados 4.1.1.1.1.a , 4.1.1.1.1.b₁ y 4.6.2.1).

En el caso de que este tipo de registros o de resultados provenientes de modelos numéricos o experimentales no esté disponible, no haya experiencia local contrastada o no se disponga de información más precisa, podrá adoptarse como valor representativo de la componente normal de la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto, asociado a cada tipo, características y situación de carga del buque, el más desfavorable obtenido por medio de las tablas 4.6.4.36 y 4.6.4.37, tomando en consideración las condiciones climáticas y operativas en las que se considera la realización de las maniobras de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas. Es decir, todos los estados de proyecto incluidos en este ciclo de solicitudes operativas, definidos por cada valor de la variable adoptada como predominante y los valores de compatibilidad del resto de variables climáticas⁽⁶⁰⁾. Igualmente serán de aplicación dichas tablas para la obtención de los valores representativos de la velocidad de aproximación en las condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario que, en su caso, deban ser consideradas, entrando con las condiciones meteorológicas definidas por los valores representativos de las variables que definen cada uno de dichos estados meteorológicos extremos o extraordinarios.

La definición de las condiciones límite de operatividad para la realización de las maniobras de atraque se incluye en el apartado 4.6.4.3.1.1.

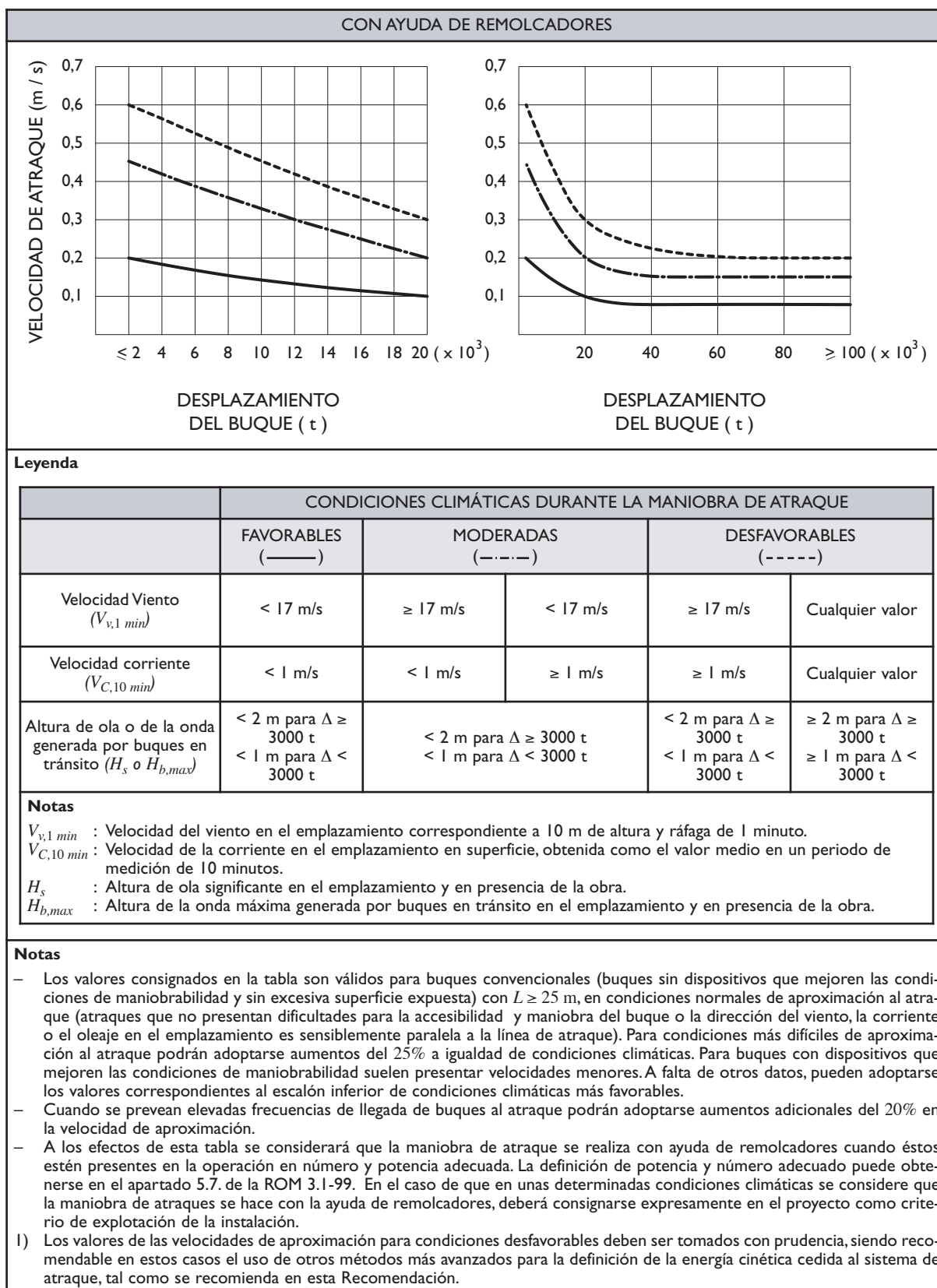
- *Para formulaciones de la energía cinética de carácter probabilista*

Si se disponen de registros o de resultados provenientes de modelos numéricos o experimentales fiables, completos y suficientes respecto a las velocidades de aproximación de la flota esperable de buques en el atraque o en atraques comparables, la definición de las velocidades de aproximación en condiciones normales operativas correspondiente a la realización de maniobras de atraque se efectuará, para cada tipo, característica y situación de carga del buque perteneciente a la flota esperable en el atraque, a través de sus funciones de distribución condicionadas a la presentación de cada una de las condiciones climáticas (favorables, moderadas y/o desfavorables, definidas de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36) en las que se considera la realización de las maniobras de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas.

En aquellos casos en los que la presentación de una variable de un agente climático no sea causa de limitación de las maniobras de atraque, para cada tipo, característica y situación de carga del buque, la velocidad de aproximación en las condiciones extremas o excepcionales asociadas a dicha variable se definirá a través de sus funciones de distribución, condicionadas a cada uno de los valores extremos de dicha variable.

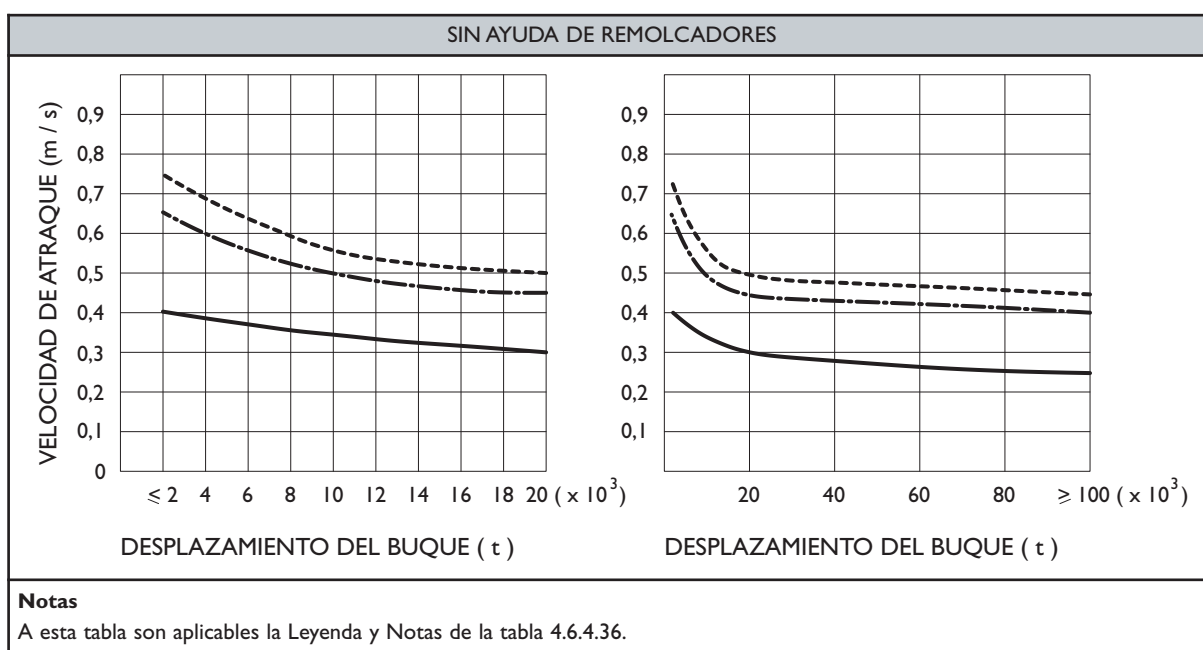
(60) No necesariamente la máxima velocidad de aproximación está asociada con las condiciones límite de operatividad para las maniobras de atraque. Podría darse el caso que los criterios de explotación de la instalación impusieran a utilización de remolcadores para las maniobras de atraque cuando se superaran determinados valores umbral de alguna de las variables que caracterizan los agentes climáticos. En ese caso podrían producirse que la velocidad de aproximación fuera mayor para condiciones climáticas menos restrictivas que las adoptadas como límite de operatividad para la realización de las maniobras de atraque.

Tabla 4.6.4.36. Valores representativos de la componente normal de las velocidades de aproximación del buque en el momento del impacto (V_p), para atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante, en el caso de que no haya registros disponibles



Para cada tipo, características y situación de carga del buque, dichas funciones pueden obtenerse a partir de la función de densidad conjunta velocidad de aproximación/condiciones climáticas y operativas en las que se produce el atraque. Con carácter general y siempre que con los datos disponibles no se haya podido identificar expresamente una ley de variación más acorde con la variabilidad de los datos en el emplazamiento, se ha observado que estas funciones de distribución se ajustan razonablemente a una función de probabilidad del tipo Weibull de mínimos triparamétrica.

Tabla 4.6.4.37. Valores representativos de la componente normal de las velocidades de aproximación del buque en el momento del impacto (V_p), para atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante, en el caso de que no haya registros disponibles



◆ Coeficiente de excentricidad (C_e)

El coeficiente de excentricidad tiene en cuenta la proporción de energía cinética desarrollada por el buque que no puede transmitirse al sistema de atraque debido a que el punto de impacto no coincide con el centro de gravedad del buque. Por dicha razón, parte de la energía cinética desarrollada por el buque se disipa fundamentalmente por la rotación o guiñada del buque alrededor del punto de impacto (Ver figura 4.6.4.8).

El coeficiente de excentricidad se obtendrá mediante la formulación siguiente:

$$C_e = \frac{K^2 + R^2 \cos^2 \phi}{K^2 + R^2}$$

siendo:

K : Radio de giro del buque alrededor del eje vertical que pasa por su centro de gravedad. Este parámetro está relacionado con el momento de inercia del buque respecto a un eje vertical que pasa por su centro de gravedad ($I_z = M_b K^2$).

Puede aproximarse por la función $K = (0,19C_b + 0,11) \cdot L$, siendo C_b el coeficiente de bloque del buque y L su eslora (Ver tabla 4.6.4.32).

R : Distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque ⁽⁶¹⁾, medida en la dirección de la línea de atraque. Su magnitud dependerá del lugar del buque donde se produce el impacto y del ángulo de aproximación al atraque (α).

ϕ : Ángulo formado entre el vector velocidad de aproximación del buque y la línea que une el punto de impacto y el centro de gravedad del buque.

Los parámetros R y ϕ deberán determinarse en función de la experiencia local sobre el comportamiento de los buques durante la maniobra de atraque existente en atraques de similares características y condiciones de utilización, sobre la base, si es posible, de observaciones o datos registrados, bien directamente de estos parámetros o más fácilmente del lugar del buque donde se produce el impacto y del ángulo de aproximación al atraque. También pueden determinarse a través de modelos numéricos o experimentales (Ver epígrafes b_2 y c de este apartado).

Tanto para formulaciones de la energía cinética de carácter determinista o semiprobabilista como probabilista mediante este modelo, será generalmente suficiente adoptar como valores de estos parámetros valores nominales correspondientes a valores frecuentes observados, dado que normalmente en cada emplazamiento y condiciones de utilización las funciones de densidad de dichos parámetros presentan pequeños coeficientes de variación y su influencia no es relevante para el rango de variación del coeficiente C_e .

En ausencia de experiencia local contrastada o de resultados obtenidos por medio de modelos numéricos o experimentales, puede considerarse que en obras de atraque continuas el buque se aproxima al atraque de forma que el punto de impacto se produce lo más cerca posible de la proa que permite el ángulo de aproximación y la forma del casco del buque y de las defensas. De acuerdo con estas consideraciones y a falta de otros datos, las magnitudes de R y ϕ pueden determinarse simplíficamente a partir de la manga del buque (B), del ángulo de aproximación (α) y de la distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque, medida sobre el eje longitudinal del buque (r), mediante las siguientes expresiones (Ver figura 4.6.4.8):

$$R = r \cdot \cos \alpha - (B/2) \cdot \sin \alpha$$

$$\phi = 90^\circ - \alpha - \arctg(B/2r),$$

adoptándose como valores frecuentes de r y α los siguientes, dependiendo de las características del buque:

■ Para el ángulo de aproximación (α):

- 5°- 6° para buques con $\Delta \geq 70.000$ t.
- 10-15° para buques con $\Delta < 70.000$ t.

Los valores mayores del rango se adoptarán cuando la maniobra sea sin ayuda de remolcadores.

■ Para la distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque (r), medida sobre el eje longitudinal del buque:

- $(1/4)L$ ⁽⁶²⁾

(61) A falta de mejor información, es admisible considerar simplíficamente a estos efectos que el centro de gravedad del buque coincide con su centro geométrico ($1/2L$, $1/2B$).

(62) Este valor se considera válido para los buques en los que aproximadamente el centro de gravedad coincide con el punto medio de la eslora. No obstante, en los buques ferries y ro-ro, el centro de gravedad suele estar desplazado hacia popa. En estos casos, el valor recomendado de r deberá adaptarse a esta circunstancia en función de que la aproximación se realice por proa a popa, manteniendo la posición del punto de impacto recomendada en relación con el punto medio de la eslora.

◆ Coeficiente geométrico del buque (C_g)

El coeficiente geométrico del buque tiene en cuenta la proporción de energía cinética desarrollada por el buque que es absorbida por el sistema de atraque por efecto de la curvatura del buque en el punto de contacto. Se recomiendan valores de $C_g = 0,95$ cuando el punto de impacto se produce en la parte curva del casco de los buques y $C_g = 1$ cuando se produce en la parte plana. Dichos valores tendrán la consideración de valores nominales correspondientes a valores frecuentes y no se les supondrá variación estadística significativa.

La adopción de un valor u otro del coeficiente geométrico del buque depende de la ubicación del punto de impacto en el buque y de la longitud (PBL) del tramo recto del casco del buque (Ver tabla 4.6.4.32). A los efectos de la determinación del punto de impacto son aplicables todas las consideraciones incluidas en esta Recomendación en el epígrafe correspondiente al coeficiente de excentricidad, debiendo quedar garantizada la compatibilidad de los valores del coeficiente geométrico y el de excentricidad. En ausencia de experiencia local contrastada en lo que respecta a la ubicación del punto de impacto y de datos respecto al PBL del buque considerado, con carácter general puede adoptarse 0,95 como valor representativo de C_g en sistemas de atraque continuos.

◆ Coeficiente de configuración del atraque (C_c)

El coeficiente de configuración del atraque tiene en cuenta el efecto amortiguador del colchón de agua que queda atrapado entre el casco del buque y la estructura de atraque, dando lugar a la aparición de una fuerza adicional sobre el buque y a la absorción de parte de la energía cinética desarrollada por el buque.

La magnitud de este efecto depende de los siguientes factores:

- La configuración y tipología estructural de la obra de atraque.
- La distancia libre entre el casco del buque y el sistema de atraque.
- El resguardo bruto bajo quilla.
- La velocidad y el ángulo de aproximación del buque al atraque.
- La forma del casco del buque.

Existe en la actualidad muy pocas experiencias u observaciones sobre la variación de C_c en función de los distintos factores de los que depende. En cualquier caso, siempre que el agua entre el buque y la obra de atraque tenga una fácil salida deberá despreciarse este efecto. Se considerará que este efecto se produce con resguardos brutos $(h_1 - D_e) > 0,5D_e$, ángulos de aproximación $\alpha > 5^\circ$ o velocidades de aproximación $V_b < 0,20$ m/s. En estos casos se adoptará, independientemente del tipo de configuración del atraque, $C_c = 1$.

En los otros casos podrán adoptarse como valores representativos de C_c los siguientes, los cuales tendrán la consideración de valores nominales correspondientes a valores frecuentes y no se les supondrá variación estadística significativa:

- $C_c = 1$
 - Cuando la configuración de la obra de atraque sea de tipo muelle o pantalán y su tipología estructural sea fija abierta (Ver apartado 2.4.2).
 - En los extremos de las obras de atraque, independientemente de su configuración y tipología estructural.
- $C_c = 0,9$
 - Cuando la configuración de la obra de atraque sea de tipo muelle o pantalán y su tipología estructural sea fija cerrada.

◆ Coeficiente de rigidez del sistema de atraque (C_s)

El coeficiente de rigidez del sistema de atraque tiene en cuenta la proporción de la energía cinética desarrollada por el buque absorbida por la deformación elástica del casco del buque y de la totalidad del mismo a lo largo de su eje longitudinal en el momento del impacto. La magnitud de este efecto depende de la rigidez relativa entre el buque y el sistema de atraque.

Existe en la actualidad muy pocas experiencias u observaciones sobre los valores que puede tomar el coeficiente C_s , aunque se admite que en la mayor parte de los casos la contribución de la deformación del buque en la absorción de energía cinética es pequeña y, por tanto, tomará valores muy próximos a la unidad. En el caso contrario, se deberían haber observado grandes deformaciones en los buques que, en la mayoría de los casos, habrían producido averías importantes.

A falta de otros datos podrán adoptarse como valores representativos de C_s los siguientes, los cuales tendrán la consideración de valores nominales correspondientes a valores frecuentes y no se les supondrá variación estadística significativa:

- $C_s = 0,9$, en el caso de sistemas de atraque muy rígidos o buques de gran eslora.
- $C_s = 1$, en el resto de los casos.

A estos efectos se considerará que un sistema de atraque es muy rígido cuando la deformación del sistema de defensa (δ_p) en el momento del impacto del buque considerado es menor o igual a 150 mm. A su vez se considerará buque de gran eslora cuando esta sea mayor o igual a 300 m.

b₁₁₂) *Para atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante en obras de atraque fijas discontinuas*

Al igual que en las obras de atraque fijas continuas, en las obras de atraque fijas discontinuas el tipo de maniobra de atraque utilizada por la mayor parte de los buques, salvo buques tipo ferries y ro-ro, es mediante una traslación transversal preponderante. A falta de información más detallada por parte del Promotor, se considerará que todos los buques atracan en obras de atraque fijas discontinuas mediante este tipo de maniobra, incluyendo los ferries y ro-ro que utilicen rampas laterales o pasarelas de embarque.

En estos casos, la determinación de la energía cedida por un buque al sistema de atraque (E_f) podrá realizarse mediante la misma formulación utilizada para atraque transversal o lateral mediante traslación transversal predominante en obras de atraque fijas continuas (Ver epígrafe b₁₁₁ de este apartado), tomando en consideración las siguientes diferencias:

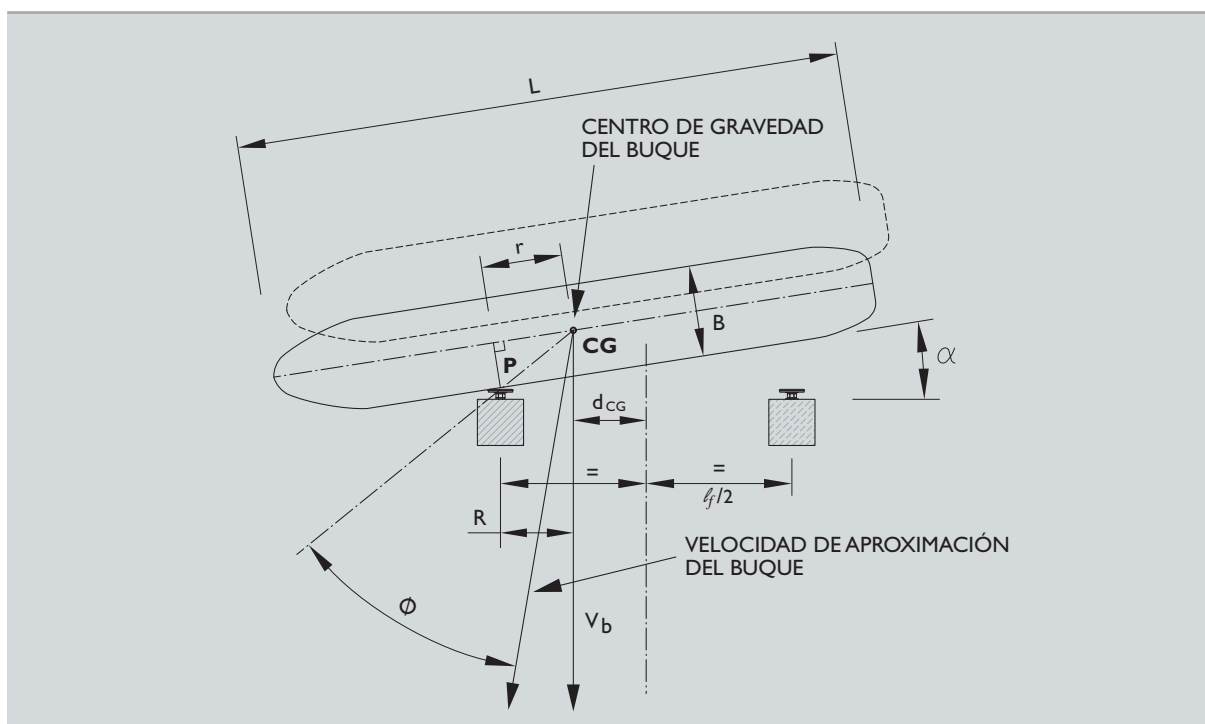
En obras de atraque fijas discontinuas (p.e. duques de alba, pantalanés discontinuos o soluciones mixtas), tanto la distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque (R) como el ángulo formado entre el vector velocidad de aproximación del buque y la línea que une el punto de impacto y el centro de gravedad del buque (ϕ) suelen ser menores que en obras de atraque fijas continuas debido fundamentalmente a la mayor separación entre sistemas de defensas en este tipo de obras ($0,25L-0,4L$), a la discontinuidad de la línea de atraque que reduce la posibilidad de que se produzca un contacto entre el casco del buque y la estructura de atraque, incluso con ángulos de aproximación elevados, y al descentramiento que suele producirse en este tipo de estructuras en el momento del impacto inicial entre el centro de gravedad del buque y el centro geométrico del sistema de atraque (Ver figura 4.6.4.9).

En ausencia de experiencia local contrastada o de resultados obtenidos a partir de modelos numéricos o experimentales, en este tipo de atraques pueden adoptarse como valores frecuentes de R y ϕ los siguientes:

- $R = (1/2 \cdot l_p) - d_{CG}$, siendo:

- l_f : separación entre sistemas de defensas. En general entre $0,25L$ y $0,4L$.
- d_{CG} : descentramiento del centro de gravedad del buque respecto al centro geométrico del sistema de atraque, medido en la dirección de la línea de atraque. A falta de otros datos, para buques con $L \geq 25$ m puede adoptarse como valor frecuente de este parámetro $0,10 \cdot L$, con un mínimo de 10 m y un máximo de 15 m.
- $\phi = 90^\circ - \alpha - \arctg(B/2r)$, siendo:
 - $r = (R/\cos\alpha) + (B/2) \cdot \tg \alpha$
 - α el ángulo de aproximación del buque al atraque. A falta de otros datos puede adoptarse como valor frecuente de este parámetro en este tipo de atraques 7° - 10° , considerándose los valores mayores del rango cuando la maniobra sea sin ayuda de remolcadores.

Figura 4.6.4.9. Atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante a obras de atraque fijas discontinuas



La menor excentricidad del punto de impacto en relación con el centro de gravedad del buque que normalmente se produce en los atraques discontinuos en relación con la que se presenta en los atraques continuos debe tomarse en consideración para la determinación del coeficiente de excentricidad (C_e) asociado con este tipo de atraques. Para un mismo buque, a igualdad de otros factores (ángulo de aproximación, ...) el coeficiente de excentricidad asociado a un atraque discontinuo es mayor que el asociado a un atraque continuo. Es decir, en este tipo de atraques hay una menor proporción de la energía cinética desarrollada por el buque que se disipa por la rotación o guiñada del buque alrededor del punto de impacto.

Asimismo, la menor excentricidad del punto de impacto en los atraques discontinuos supone que, en general, este punto se ubique en el tramo recto del casco del buque, por lo que puede adoptarse 1,0 como valor nominal del coeficiente geométrico del buque (C_g) en este tipo de atraques, a menos que se justifique la adopción de otros valores.

La tipología discontinua del atraque también tiene influencia en el coeficiente de configuración del atraque (C_c), al no ser significativos los efectos amortiguadores del colchón de agua que queda

atrapado entre el casco del buque y la estructura de atraque por la configuración abierta de este tipo de estructuras de atraque. Por dicha razón, en este tipo de obras de atraque se adoptará 1,0 como valor nominal de C_c .

- b₁₁₃) *Para atraque lateral, por proa o por popa mediante traslación longitudinal preponderante en obras de atraque fijas*

Este tipo de maniobra de atraque es común en buques de pequeño desplazamiento y en buques ferris y ro-ro que utilizan rampas en proa o popa cuando es necesario realizar la maniobra de atraque con una gran rapidez. Es decir, en general cuando el atraque es para buques que pertenecen a líneas regulares con alta frecuencia de llegadas y con reducidos tiempos de servicio. En este caso, la maniobra de atraque consiste en una aproximación longitudinal directa bajo el control del buque y sin utilización de medios auxiliares, teniendo lugar el impacto directamente contra la obra de atraque lateral (Ver figura 4.6.4.10) o, cuando existe, contra la obra de atraque frontal en la que se sitúa, en su caso, la rampa o la estructura de defensa de la misma, utilizando en este último caso la obra de atraque lateral como guía. Es decir, con capacidad para absorber la energía cinética asociada con la componente normal a dicho atraque de la velocidad longitudinal de aproximación (Ver figura 4.6.4.11). Para que se pueda considerar este tipo de maniobra de atraque, la separación del sistema de defensas en la obra de atraque lateral no debe exceder a la separación recomendada para obras de atraque continuas (0,15-0,17L), independientemente de la configuración continua o discontinua de dicha obra de atraque.

Figura 4.6.4.10. Atraque lateral o de costado mediante traslación longitudinal preponderante a obras de atraque fijas

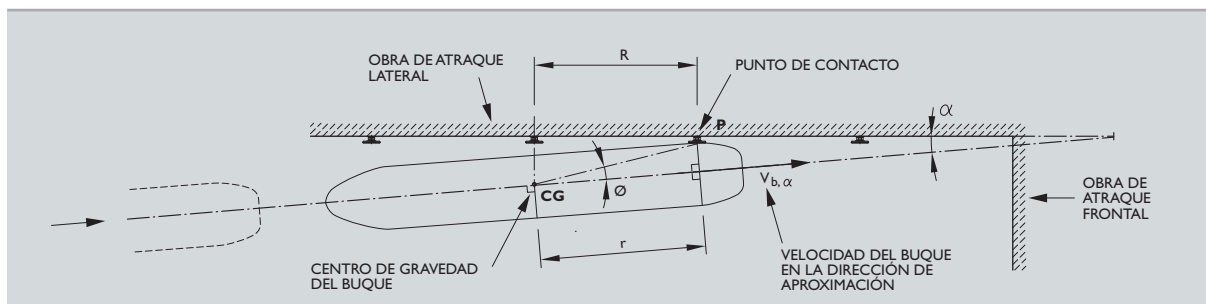
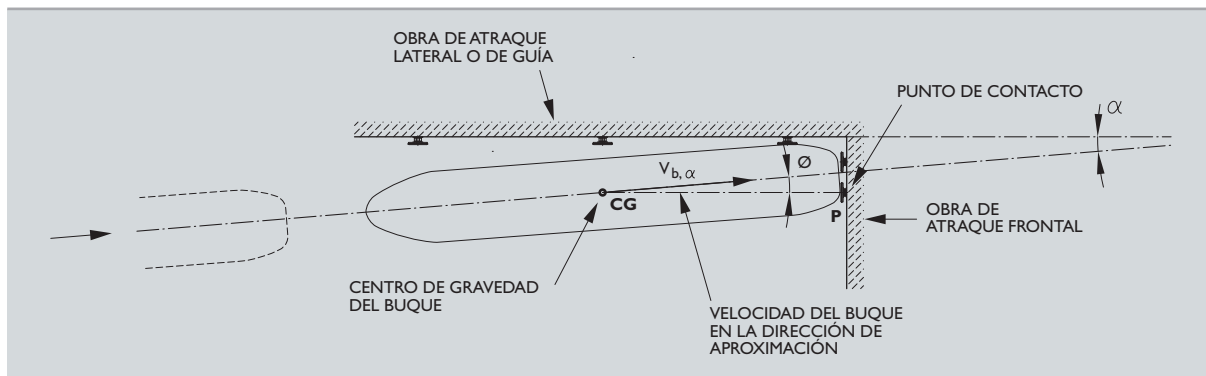


Figura 4.6.4.11. Atraque por proa o por popa mediante traslación longitudinal preponderante a obras de atraque fijas



Mediante este tipo de maniobra, debe considerarse, por tanto, la energía que puede ser cedida por el buque al sistema de atraque en cada una de las alineaciones.

◆ Energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque lateral (E_{fL})

La energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque lateral (E_{fL}) en el punto de impacto puede determinarse mediante la formulación general establecida para atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante, considerando la componente normal a dicho atraque de la velocidad longitudinal de aproximación del buque. Es decir:

$$V_b = V_{b,\alpha} \cdot \sin \alpha$$

Siendo $V_{b,\alpha}$ la velocidad del buque en la dirección de aproximación en el momento del impacto.

Por tanto, la energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque lateral (E_{fL}) con este tipo de maniobra puede determinarse mediante la expresión:

$$\begin{aligned} E_{fL} = E_b \cdot C_b &= \left[\frac{1}{2} (C_m M_b) \cdot (V_b)^2 \right] C_e \cdot C_g \cdot C_c \cdot C_s = \left[\frac{1}{2} (C_m M_b) \cdot (V_{b,\alpha} \cdot \sin \alpha)^2 \right] \cdot C_e \cdot C_g \cdot C_c \cdot C_s = \\ &= \left[\frac{1}{2g} (C_m \Delta) \cdot (V_{b,\alpha} \cdot \sin \alpha)^2 \right] \cdot C_e \cdot C_g \cdot C_c \cdot C_s \end{aligned}$$

siendo:

- E_b : Energía cinética desarrollada por el buque durante el atraque ($kN.m$).
- C_b : Coeficiente ($C_b = C_e C_g C_c C_s$) de atraque (adimensional).
- $C_m M_b$: Masa movilizada por el buque durante el atraque.
- M_b : Masa del buque ($M_b = \Delta/g$).
- Δ : Desplazamiento del buque (kN).
- g : Aceleración de la gravedad ($9,8 \text{ m/s}^2$).
- C_m : Coeficiente de masa hidrodinámica (adimensional).
- $V_{b,\alpha}$: La velocidad del buque en la dirección de aproximación en el momento del impacto (m/s).
- α : El ángulo de aproximación al atraque.
- C_e : Coeficiente de excentricidad (adimensional).
- C_g : Coeficiente geométrico del buque (adimensional).
- C_c : Coeficiente de configuración del atraque (adimensional).
- C_s : Coeficiente de rigidez del sistema de atraque (adimensional).

Para la determinación de los coeficientes C_g , C_c y C_s será totalmente de aplicación lo definido para dichos coeficientes en los epígrafes b_{111} y b_{112} para atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante.

A menos que se justifique la adopción de otros valores, para aproximaciones longitudinales al atraque lateral se recomienda considerar como valor nominal del coeficiente de masa hidrodinámica $C_m = 1,10$, independientemente del resguardo bajo quilla.

Cuando se disponga de registros o de resultados provenientes de modelos numéricos o experimentales fiables, completos, suficientes y representativos o haya experiencia local contrastada, la velocidad de aproximación del buque ($V_{b,\alpha}$) también será definida de acuerdo con lo indicado para estos casos en el epígrafe b_{111}) tanto para formulaciones de la energía cinética de carácter determinista o semiprobabilista como probabilista. No obstante, en el caso de que este tipo de registros o resultados no estén disponible, no haya experiencia local contrastada o no se disponga de información más precisa, para formulaciones deterministas o determinista-probabilista podrá adoptarse como valor representativo de la velocidad de aproximación:

- $V_{b,\alpha} = 2 \text{ m/s}$, cuando las condiciones climáticas y operativas más desfavorables en las que se considera la realización de la maniobra de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas, así como, en su caso, cuando las condiciones climáticas asociadas a las condiciones extremas y

excepcionales que deban considerarse, son definidas como favorables de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36.

- $V_{b,\alpha} = 3$ m/s, cuando las condiciones climáticas y operativas más desfavorables en las que se considera la realización de la maniobra de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas, así como, en su caso cuando las condiciones climáticas asociadas a las condiciones extremas y excepcionales que deban considerarse, son definidas como moderadas de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36. ⁽⁶³⁾

No se considerará la realización de este tipo de maniobra de atraque en condiciones climáticas clasificadas como desfavorables de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36.

Estos valores de la velocidad longitudinal de aproximación están asociados a ataque lateral o de costado mediante traslación longitudinal preponderante. No obstante, del lado de la seguridad se considerarán los mismos valores para la determinación de la energía cedida al atraque lateral en el caso de atraque directo por proa o popa a una obra de atraque frontal con el mismo tipo de maniobra utilizando el atraque lateral como guía, aunque en estos casos la velocidad de aproximación observada es menor (Ver epígrafe correspondiente a la energía cedida por el buque al sistema de atraque frontal). La razón es que con esta configuración de atraque son posibles ambos tipos de maniobra.

Para la determinación del valor nominal del coeficiente de excentricidad (C_e) será de aplicación lo dispuesto a estos efectos en los epígrafes b_{111} de este apartado, tomando asimismo como f el ángulo formado entre la línea que une el punto de impacto y el centro de gravedad del buque y el vector velocidad del buque (Ver figura 4.6.4.10). No obstante, en estos casos y en ausencia de experiencia local contrastada o de resultados provenientes de modelos numéricos o experimentales, puede considerarse que, tanto si la obra de atraque lateral es continua como discontinua, si el buque se aproxima a dicho atraque mediante una traslación longitudinal preponderante el punto de contacto se produce lo más cerca posible de la proa o la popa que permite el ángulo de aproximación y la forma del casco del buque y de las defensas. De acuerdo con estas consideraciones, las magnitudes de R y ϕ pueden determinarse simplifícadamente en este tipo de maniobra mediante las siguientes expresiones (Ver figura 4.6.4.10):

$$R = r \cdot \cos\alpha - (B/2) \cdot \sin\alpha$$

$$\phi = \arctg(B/2r)$$

A falta de otros datos, se podrán adoptar como valores nominales correspondientes a valores frecuentes observados de r y a los siguientes:

- Para el ángulo de aproximación (α)
 - 15°, excepto si la disposición geométrica del atraque obliga a uno menor.
- Para la distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque (r), medida sobre el eje longitudinal del buque
 - $(1/4)L$ ⁽⁶⁴⁾

(63) Cuando la maniobra para atraque lateral o de costado es mediante traslación longitudinal preponderante los valores representativos de la velocidad de aproximación son mucho mayores que los adoptados cuando la maniobra de atraque lateral se realiza mediante traslación transversal debido a que los tipos de buques que pueden efectuar este tipo de maniobras (ferries y ro-ro fundamentalmente) suelen estar dotados de características de maniobrabilidad náutica y mecanismos de propulsión que permiten realizar las operaciones de atraque de forma mucho más rápida, así como a los reducidos tiempos de servicio o de utilización del atraque asociados generalmente con este tipo de buques.

(64) Este valor se considera válido para los buques en los que aproximadamente el centro de gravedad coincide con el punto medio de la eslora. No obstante, en los buques ferries y ro-ro, el centro de gravedad suele estar desplazado hacia popa. En estos casos, el valor recomendado de r deberá adaptarse a esta circunstancia en función de que la aproximación se realice por proa a popa, manteniendo la posición del punto de impacto recomendada en relación con el punto medio de la eslora.

◆ Energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque frontal (E_{ff})

La energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque frontal (E_{ff}) en el punto de impacto puede determinarse mediante la formulación general establecida para atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante, considerando la componente normal a dicho atraque de la velocidad longitudinal de aproximación del buque ($V_b = V_{b,\alpha} \cdot \cos \alpha$), que el coeficiente de excentricidad puede adoptarse igual a 1 debido a que, en este tipo de maniobra, el ángulo α formado entre el vector velocidad de aproximación del buque y la línea que une el punto de impacto y el centro de gravedad del buque es menor de 10° (Ver figura 4.6.4.11) y que los valores frecuentes observados para el resto de los coeficientes que intervienen en la formulación están próximos a la unidad.

Por tanto, la energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque frontal con este tipo de maniobra (E_{ff}) puede determinarse mediante la expresión:

$$E_{ff} = E_b \cdot C_b = \left[\frac{1}{2} (M_b) \cdot (V_{b,\alpha} \cdot \cos \alpha)^2 \right] = \left[\frac{1}{2g} (\Delta) \cdot (V_{b,\alpha} \cdot \cos \alpha)^2 \right]$$

Siendo $V_{b,\alpha}$ es la velocidad del buque en la dirección de aproximación en el momento del impacto y α el ángulo de aproximación (Ver figura 4.6.4.11).

Es decir, puede admitirse que la energía cinética generada por el buque considerando la componente normal al atraque de la velocidad de aproximación es cedida en su totalidad al sistema de atraque frontal.

Cuando se dispongan de registros o resultados provenientes de modelos numéricos o experimentales fiables, la velocidad de aproximación del buque será definida de acuerdo con lo indicado para estos casos en el epígrafe b_{111}) tanto para formulaciones de la energía cinética de carácter determinista o semiprobabilista como probabilista. En el caso de que este tipo de registros o resultados no esté disponible, no haya experiencia local contrastada o no se disponga de información más precisa, para formulaciones deterministas o semiprobabilistas podrá adoptarse como valor representativo de la velocidad de aproximación para atraque por proa o popa mediante traslación longitudinal preponderante:

- $V_{b,\alpha} = 0,5$ m/s cuando las condiciones climáticas y operativas más desfavorables en las que se considera la realización de la maniobra de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas, así como, en su caso, cuando las condiciones climáticas asociadas a las condiciones extremas o excepcionales que deban considerarse, son definidas como favorables de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36.
- $V_{b,\alpha} = 1$ m/s, cuando las condiciones climáticas y operativas más desfavorables en las que se considera la realización de la maniobra de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas, así como, en su caso, cuando las condiciones climáticas asociadas a las condiciones extremas o excepcionales que deban considerarse, son definidas como moderadas de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36.

No se considerará la realización de este tipo de maniobra de atraque en condiciones climáticas clasificadas como desfavorables de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36.

A falta de otros datos, se podrá adoptar 15° como valor nominal del ángulo de aproximación correspondiente a valores frecuentes observados, excepto si la disposición geométrica del atraque obliga a uno menor.

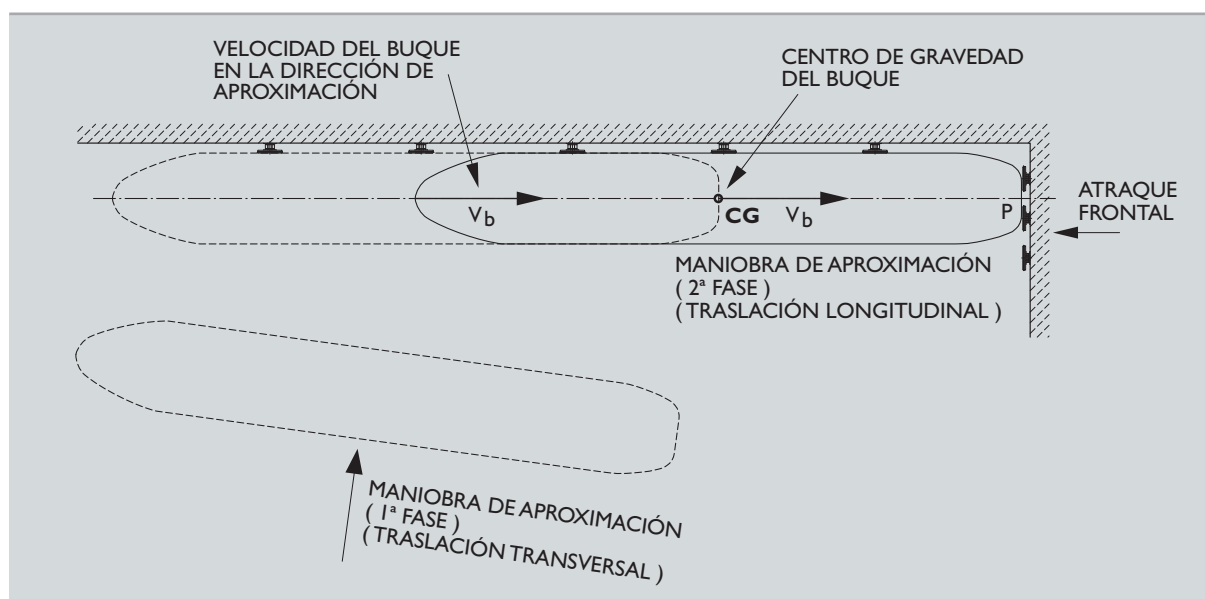
b_{114}) *Para atraque por proa o popa mediante traslación longitudinal en obras de atraque fijas, a partir de buque parado*

Este tipo de maniobra de atraque es común en buques ferries, ro-ro y transportadores de coches que utilizan rampas a proa o popa, cuando son de gran tamaño o la aproximación a la instalación de atraque es difícil o se hace con medios auxiliares. En este caso, la maniobra de atraque se divide en dos fases. Pri-

mero una aproximación a un atraque lateral mediante una traslación transversal o longitudinal preponderante, para a continuación, y desde una situación prácticamente de parada, aproximarse al atraque de proa o popa mediante una lenta traslación longitudinal. (Ver figura 4.6.4.12).

Para la determinación de la energía cinética cedida al atraque lateral será de aplicación los apartados b_{111} y b_{113} de este apartado en función del tipo de la maniobra realizada en la primera fase de la operación.

Figura 4.6.4.12. Atraque por proa o popa mediante traslación longitudinal a obras de atraque fijas a partir de buque parado



Al igual que para la determinación de la energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque frontal mediante maniobra de traslación longitudinal predominante, en el caso de maniobra de traslación longitudinal pura a partir de buque parado la energía cinética cedida al atraque frontal (E_{fF}) en el punto de impacto puede determinarse mediante la expresión:

$$E_{fF} = E_b \cdot C_b = \left[\frac{1}{2} (M_b) \cdot (V)^2 \right] = \left[\frac{1}{2g} (\Delta) \cdot (V_b)^2 \right]$$

También en este caso, se considera que la energía cinética generada por el buque es cedida en su totalidad al sistema de atraque.

V_b es la velocidad de aproximación longitudinal al atraque de proa o popa. Cuando se dispongan de registros o de resultados provenientes de modelos numéricos o experimentales fiables, la velocidad de aproximación del buque será definida de acuerdo con lo indicado para estos casos en el epígrafe b_{111}) tanto para formulaciones de la energía cinética de carácter determinista o semiprobabilista como probabilista. En el caso de que este tipo de registros o resultados no esté disponible, no haya experiencia local contrastada o no se disponga de información más precisa, para formulaciones deterministas o semiprobabilistas podrá adoptarse como valor representativo de la velocidad de aproximación 0,20 m/s, independientemente del desplazamiento del buque, siempre y cuando las condiciones climáticas y operativas más desfavorables en las que se considera la realización de la maniobra de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas, así como, en su caso, cuando las condiciones climáticas asociadas a las condiciones extremas o excepcionales que deban considerarse, sean definidas

como favorables o moderadas de acuerdo con lo dispuesto a estos efectos en la tabla 4.6.4.36. Para condiciones climáticas desfavorables podrá adoptarse 0,50 m/s como valor representativo de la velocidad de aproximación.

b₁₁₅) Para atraque en obras de atraque flotantes y en estaciones de transferencia

Las obras de atraque flotantes del tipo pontona, pantalán o cajón resisten principalmente las acciones de atraque mediante su transmisión a los sistemas de guiado fijos, los dispositivos de apoyo en tierra y/o a los sistemas de amarre de los que disponga para mantener en posición la estructura y compatibilizar sus movimientos con los requerimientos operativos exigidos. Por tanto, a los efectos de la determinación de la energía cinética del buque cedida a este tipo de atraques, pueden considerarse que la obra de atraque se comporta como fija, siendo de aplicación las formulaciones matemáticas incluidas en esta Recomendación para ese tipo de obras en función de las condiciones y tipo de maniobra de aproximación del buque al atraque, así como de la configuración de la obra de atraque (epígrafes *b₁₁₁* a *b₁₁₄*).

En el caso de atraque a estaciones de transferencia (atraque buque a buque), considerando atraque lateral o de costado de buque a buque mediante traslación transversal preponderante (Ver figura 4.6.4.13), para la definición de la energía cinética del buque cedida al sistema de atraque también será de aplicación la formulación correspondiente a obras de atraque fijas continuas (epígrafe *b₁₁₁*) con las siguientes modificaciones:

◆ Coeficiente de masa hidrodinámica (C_m)

El valor nominal del coeficiente de masa hidrodinámica podrá determinarse por medio de la siguiente formulación:

$$C_m = \frac{C_{m,1}C_{m,2}\Delta_2}{C_{m,1}\Delta_1 + C_{m,2}\Delta_2}$$

Δ_1 : Desplazamiento del buque que atraca.

Δ_2 : Desplazamiento del buque o artefacto flotante correspondiente a la estación de transferencia (buque o artefacto flotante sobre el que se atraca).

$C_{m,1}$: Coeficiente de masa hidrodinámica correspondiente al buque que atraca, obtenido de acuerdo con la formulación recomendada en el epígrafe *b₁₁₁*.

$C_{m,2}$: Coeficiente de masa hidrodinámica correspondiente a la estación de transferencia, obtenido de acuerdo con la formulación recomendada en el epígrafe *b₁₁₁*.

◆ Coeficiente de rigidez del sistema de atraque (C_s)

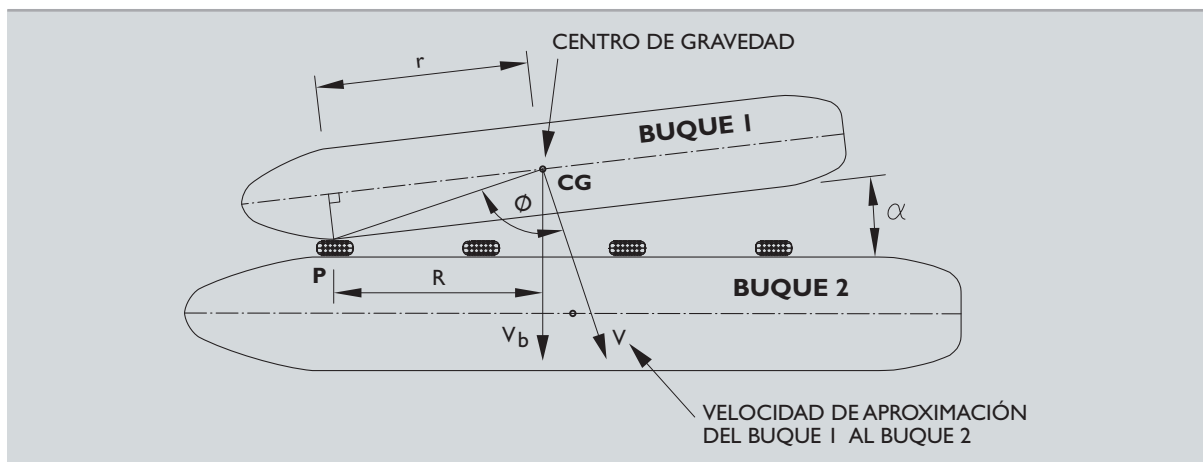
A falta de otros datos, se adoptará como valor representativo del coeficiente de rigidez del sistema de atraque (C_s):

$$C_s = \frac{1}{1 + \Delta_1 / \Delta_2}$$

El método matemático analítico para determinar la energía cinética desarrollada por un buque y cedida al sistema de atraque durante las operaciones de atraque incluido en esta Recomendación se resume en la tabla 4.6.4.38. En dicha tabla se incluye un gráfico en el que se integran ordenadamente los principales factores que intervienen en la formulación, así como las múltiples dependencias funcionales e interrelaciones que se establecen entre los mismos, los cuales se desarrollan ampliamente en el texto de la Recomendación. Como puede observarse en dicho gráfico, la determinación de la energía cedida al sistema de atraque exige previamente al Promotor o al Proyectista

la definición de las características del buque, las condiciones y tipo de maniobra de atraque, los medios auxiliares utilizados, la configuración del atraque y su tipología estructural, las características del sistema de amarre y defensas y las condiciones climáticas en el emplazamiento más desfavorables en la que se considera la realización de la maniobra de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas, así como, en su caso, las condiciones climáticas asociadas a las condiciones extremas o excepcionales que deban considerarse.

Figura 4.6.4.13. Atraque lateral o de costado mediante una traslación transversal propenderante a una estación de transferencia a flote. Atraque buque a buque



- b₁₂) Definición de la energía cinética cedida al sistema de atraque por la flota esperable en el atraque durante las maniobras de atraque

Cuando la flota esperable de buques en el atraque esté formada por buques de tipo, características y situaciones de carga diferentes no deberá limitarse la determinación de la energía cinética cedida al sistema de atraque al buque de mayor desplazamiento sino que deberá definirse para cada uno de los buques y situaciones de carga de los mismos, tomando en consideración todas las condiciones climáticas que no sobrepasen los límites de operatividad adoptados. El buque de mayor desplazamiento no debe conducir necesariamente a la mayor energía cinética en la medida en que algunos parámetros que intervienen en la formulación (p.e. la velocidad de aproximación) pueden ser más desfavorables en buques de menor tamaño. De igual modo, para cada buque la máxima energía cedida al sistema de atraque en condiciones normales operativas no tiene por qué estar asociada con las condiciones climáticas límite de operatividad, particularmente si los medios auxiliares utilizados (p.e. remolcadores) no son los mismos en todas las condiciones climáticas incluidas en el ciclo de solicitud correspondiente a la realización de las maniobras de atraque ⁽⁶⁵⁾.

Mediante el método analítico, en función del tipo de formulación de las ecuaciones de verificación, las energías cedidas durante la maniobra de atraque se definirán:

- b₁₂₁) Para formulaciones deterministas y determinista-probabilista

El valor representativo de la energía cedida por cada buque al sistema de atraque correspondiente a condiciones normales operativas correspondientes al estado límite de opera-

(65) Al ser las velocidades de aproximación del buque al atraque menores cuando se utilizan remolcadores, si las condiciones de explotación de la instalación exigen la utilización de remolcadores para las maniobras de atraque a partir de unas condiciones climáticas, puede producirse que para condiciones climáticas más favorables que las adoptadas como límite de operatividad de la instalación para esta condición de trabajo la velocidad de aproximación sea mayor, consecuentemente, sea mayor la energía cedida al sistema de atraque.

ciones de atraque, así como, en su caso, a condiciones extremas y excepcionales, se obtendrá introduciendo en la formulación los valores representativos en la correspondiente condición de trabajo de cada uno de los factores que intervienen en la misma, obtenidos de acuerdo con lo establecido en el epígrafe b_{11} de este apartado para formulaciones de la energía cinética cedida al sistema de atraque mediante formulaciones deterministas y determinista-probabilistas ⁽⁶⁶⁾.

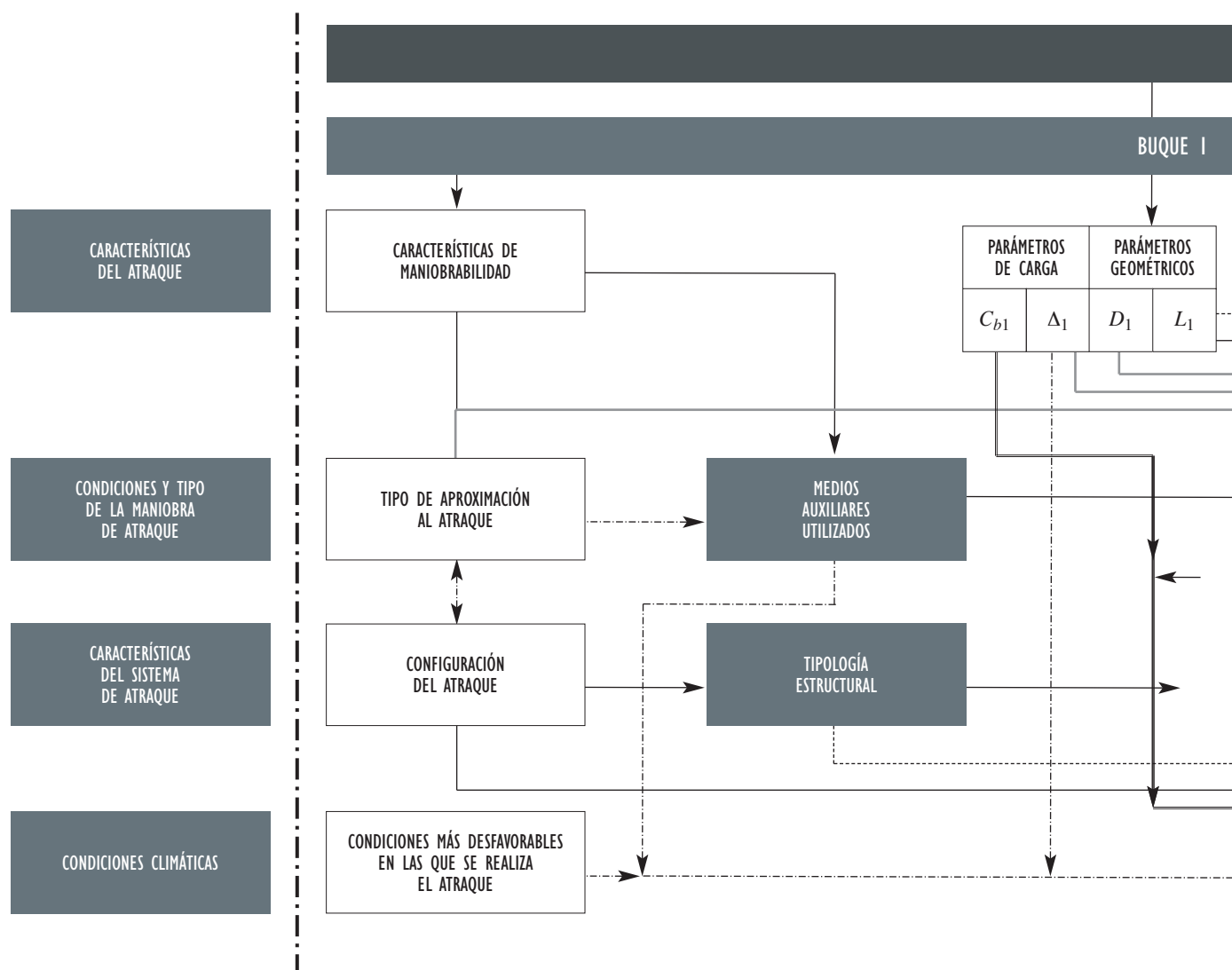
Lo anterior es válido si, a lo sumo, la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto en las diferentes condiciones climáticas en las que se considere que puede tener lugar la maniobra de atraque es el único factor que, aparte de los parámetros del buque, se ha definido mediante un modelo de probabilidad fiable. En la actualidad, este parámetro suele ser el único que, en algunos emplazamientos, puede definirse mediante un modelo de probabilidad fiable. A su vez, este es el factor predominante y el factor cuyo rango de variación es más relevante para la definición de la energía cinética.

No obstante, si hubiera más factores definidos mediante funciones de distribución fiables (como por ejemplo el ángulo de aproximación), para definir los valores representativos de la energía cinética cedida al sistema de atraque por un buque en cada condición de trabajo sería más correcto definir la función de distribución de dicha energía, obteniéndola como función derivada de las funciones de distribución de las variables climáticas y las del resto de factores que intervienen en su determinación, en el emplazamiento y en la condición de trabajo considerada, adoptando como valor representativo de la misma el correspondiente al cuantil del 95% de probabilidad de no excedencia en dicha función de distribución para condiciones normales de operación o, en su caso, al cuantil del 85% para condiciones extremas o excepcionales. En aquellos casos en el que los factores pudieran presentar un cierto grado de dependencia (p.e. velocidad de aproximación o el ángulo de aproximación con las condiciones climáticas) para su obtención deberán considerarse las funciones de distribución condicionadas a los valores adoptados para las variables de las que dependen (normalmente se adoptarán las condiciones climáticas como variables principales). Para condiciones normales operativas, las condiciones climáticas se definirán por medio de las funciones de distribución anual conjunta (magnitud/dirección) de las variables principales de los agentes climáticos independientes entre sí, así como, para las variables dependientes de las anteriores, por medio de las funciones de distribución conjunta magnitud-dirección, condicionadas a cada valor y, en su caso, dirección, de la variable principal de la que dependen. Dichas funciones de distribución estarán truncadas, en su caso, por el valor umbral límite de operatividad correspondiente al buque considerado definido para la variable en cada dirección para la realización de las maniobras de atraque. Para condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario, las condiciones climáticas se definirán por medio de las funciones de distribución extremas magnitud-dirección de las variables independientes entre sí que no son causa de limitación de las maniobras de atraque. El resto de variables principales de los agentes actuantes independientes se definirán del mismo modo, pero truncadas, en su caso, por el valor umbral límite de operatividad definido en cada dirección para la realización de las maniobras de atraque. Las variables dependientes de las anteriores se definirán por medio de las funciones de distribución de las variables dependientes de las anteriores, condicionadas a cada valor extremal y, en su caso, dirección, de la variable de la que dependen.

Las funciones de distribución de la energía cedida al sistema de atraque en cada condición de trabajo derivadas de las funciones de distribución de los factores que intervienen en su

(66) Valor más desfavorable correspondiente al cuantil del 95% de las funciones de distribución del parámetro velocidad de aproximación condicionadas a cada una de las condiciones climáticas en las que puede realizarse la operación en condiciones normales operativas (favorables, moderadas y/o desfavorables) o, en su caso, el correspondiente al cuantil del 85% en la función de distribución de dicho parámetro condicionada a las condiciones climáticas definidas por el valor representativo en condiciones extremas o excepcionales adoptado para la variable climática que define estas condiciones de trabajo (Ver apartado 4.1.1.1. a y b_1), y valores nominales del resto de factores, asociados a valores frecuentes observados.

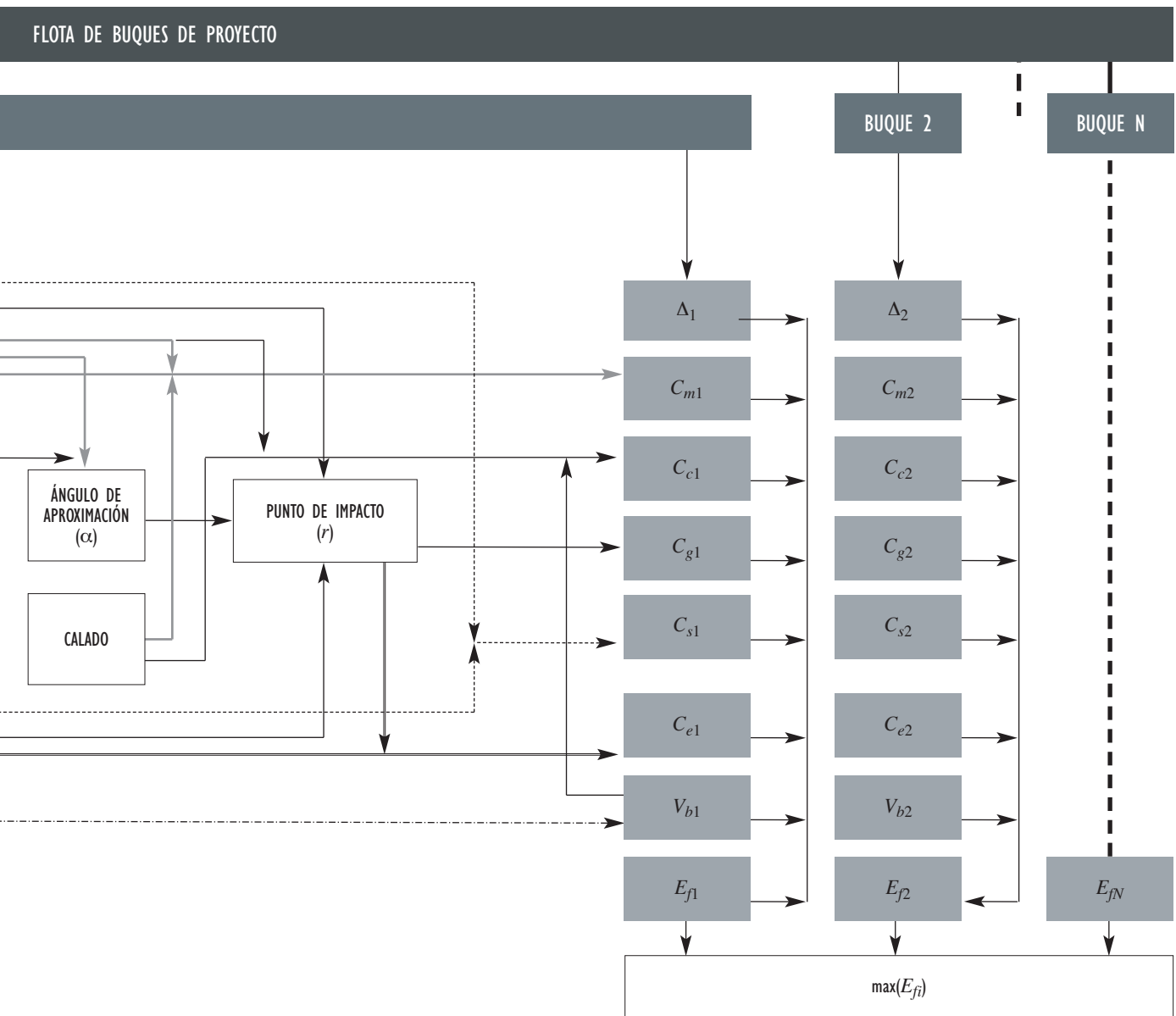
Tabla 4.6.4.38. Resumen del método matemático analítico para determinar la energía cinética desarrollada por un buque y cedida al sistema de atraque durante la operación de atraque



determinación pueden obtenerse por medio del ajuste de una función de distribución a los resultados obtenidos al introducir cada conjunto de valores obtenidos de forma aleatoria (p.e mediante el método de Monte Carlo) en la formulación analítica.

El valor característico de la energía cinética cedida al sistema de atraque en cada condición de trabajo será el mayor de los valores representativos de la energía cedida al sistema de atraque de entre los correspondientes a cada uno de los buques y situaciones de carga que componen la flota esperable en el atraque en la condición de trabajo considerada (Ver tabla 4.6.4.38).

Las condiciones climáticas asociadas con el valor característico de la energía cinética cedida al sistema de atraque en condiciones de trabajo correspondientes al esta-



do límite de operaciones de atraque definirán los estados meteorológicos representativos de dichas condiciones a los efectos de la obtención de los valores compatibles de otros agentes de uso y explotación en dicho estado que dependan de los agentes meteorológicos. En el caso de que las condiciones climáticas asociadas con el valor característico de la energía cinética cedida se hayan definido únicamente como favorables, moderadas o desfavorables de acuerdo con lo dispuesto en la tabla 4.6.4.36, se considerarán como estados meteorológicos representativos de esta condición de trabajo los definidos por el valor límite más desfavorable de cada una de las variables climáticas en la condición climática correspondiente, según lo dispuesto en la tabla citada, consideradas sucesivamente como predominantes, diferenciadas en su caso por sectores direccionales de actuación, y por los valores de compatibilidad establecidos para condiciones de trabajo operativas, con el valor y

dirección adoptados para la variable predominante, del resto de variables de actuación simultánea ⁽⁶⁷⁾.

Los valores representativos de la energía cedida al sistema de atraque durante las operaciones de atraque, utilizando para su determinación métodos matemáticos analíticos, se resumen en la tabla 4.6.4.39.

Tabla 4.6.4.39. Valores representativos de la energía cinética desarrollada por un buque y cedida al sistema de atraque durante las operaciones de atraque (determinada mediante métodos matemáticos analíticos) Para la verificación de estados límite con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo

CONDICIÓN DE TRABAJO	DEFINICIÓN DE FACTORES	VALOR CARACTERÍSTICO	VALOR DE COMBINACIÓN	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Normales Operativas correspondientes al estado límite de operaciones de atraque (CTI, I)	Todos los factores se definen sin base estadística	El mayor valor representativo de la energía cedida entre los correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos. Siendo el valor representativo de la energía cedida por un buque al sistema de atraque, el obtenido introduciendo en la formulación los siguientes valores:			
		<ul style="list-style-type: none"> – El valor nominal más desfavorable de la velocidad de aproximación del buque al puesto de atraque, de entre todos los correspondientes a todas las condiciones climáticas en las que se considera la realización por el buque de las maniobras de atraque en condiciones normales operativas ¹⁾. – El valor nominal del resto de los factores (valor frecuente). 	–	–	–
	Uno de los factores con base estadística fiable ²⁾	El mayor valor representativo de la energía cedida entre los correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos. Siendo el valor representativo de la energía cedida por un buque al sistema de atraque, el obtenido introduciendo en la formulación los siguientes valores:			
		<ul style="list-style-type: none"> – En el caso del factor con base estadística, el valor más desfavorable de entre los correspondientes al cuantil del 95% en las funciones de distribución de dicho factor, condicionadas a la presentación de cada una de las condiciones climáticas (favorables, moderadas y/o desfavorables) en las que se considera la realización por el buque de maniobras de atraque en el emplazamiento en condiciones normales operativas ¹⁾. – El valor nominal de cada uno del resto de los factores definidos sin base estadística. 	–	–	–

(67) – Variable principal del agente climático adoptado como predominante: valor límite más desfavorable en la condición climática correspondiente (favorable, moderada o desfavorable).

- Variables principales del resto de agentes climáticos de actuación simultánea, independientes del agente predominante: probabilidad absoluta de no excedencia del 50%, en el año medio, sin superar, en su caso, el límite que pudiera estar establecido individualmente para la variable en la condición climática correspondiente. En caso de que se superara se adoptará como valor el citado límite.
- Para las variables no principales dependientes tanto del agente predominante como de los agentes climáticos independientes de éste, así como para las variables de los agentes climáticos dependientes del agente climático predominante: cuantil del 85% o del 15% de la función de distribución de la variable correlacionada, condicionada al valor y, en su caso, dirección de la variable principal de la que depende, en función de que sean más desfavorables los valores superiores o inferiores de la variable correlacionada.
- Para los agentes operativos desfavorables: condición límite de explotación o valor máximo previsible.

Valores representativos de la energía cinética desarrollada por un buque y cedida al sistema de atraque durante las operaciones de atraque (determinada mediante métodos matemáticos analíticos) Para la verificación de estados límite con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo (continuación)

CONDICIÓN DE TRABAJO	DEFINICIÓN DE FACTORES	VALOR CARACTERÍSTICO	VALOR DE COMBINACIÓN	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Normales Operativas correspondientes al estado límite de operaciones de atraque (CT1,I)	Más de uno de los factores con base estadística fiable	El mayor valor representativo de la energía cedida entre los correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos. Siendo el valor representativo de la energía cedida por un buque al sistema de atraque, el siguiente:			
		<ul style="list-style-type: none"> – El correspondiente al cuantil del 95% en la función de distribución de la energía cedida por el buque al sistema de atraque, obtenida como función derivada de las funciones de distribución, en las condiciones climáticas consideradas para la realización de las maniobras de atraque en condiciones normales operativas, de los factores de los que depende. Dicha función derivada puede obtenerse por medio del ajuste de una función de distribución a los resultados obtenidos al introducir cada conjunto de valores de los factores, obtenidos de forma aleatoria (p.e mediante el método de Monte Carlo), en la formulación analítica. 	–	–	–
Condiciones de Trabajo Extremas y condiciones de trabajo Excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario (CT2) y (CT3,I) ³⁾	Todos los factores se definen sin base estadística	El mayor valor representativo de la energía cedida entre los correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable, en las situaciones de carga límite de los mismos, en los cuales la variable del agente climático que define el estado meteorológico extremal y excepcional no es causa de limitación de las maniobras de atraque. Siendo el valor representativo de la energía cedida por un buque al sistema de atraque, el obtenido introduciendo en la formulación los siguientes valores:			
		<ul style="list-style-type: none"> – El valor nominal de la velocidad de aproximación del buque al puesto de atraque, en las condiciones climáticas correspondientes al estado meteorológico extremal o excepcional considerado. – El valor nominal del resto de los factores (valor frecuente). 	–	–	–
	Un de los factores con base estadística fiable ²⁾	El mayor valor representativo de la energía cedida entre los correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable, en las situaciones de carga límite de los mismos, en los cuales la variable del agente climático que define el estado meteorológico extremal y excepcional no es causa de limitación de las maniobras de atraque. Siendo el valor representativo de la energía cedida por un buque al sistema de atraque, el obtenido introduciendo en la formulación los siguientes valores:			
		<ul style="list-style-type: none"> – En el caso del factor con base estadística, el valor más desfavorable de entre los correspondientes al cuantil del 85% en la función de distribución de dicho factor, condicionada a las condiciones climáticas definidas por el valor representativo en condiciones extremas o excepcionales adoptado para la variable climática que define estas condiciones de trabajo. – El valor nominal de cada uno del resto de los factores definidos sin base estadística. 	–	–	–

Valores representativos de la energía cinética desarrollada por un buque y cedida al sistema de atraque durante las operaciones de atraque (determinada mediante métodos matemáticos analíticos) Para la verificación de estados límite con probabilidades de fallo menores del 5% en la correspondiente condición de trabajo (continuación)

CONDICIÓN DE TRABAJO	DEFINICIÓN DE FACTORES	VALOR CARACTERÍSTICO	VALOR DE COMBINACIÓN	VALOR FRECUENTE	VALOR CUASI-PERMANENTE
Condiciones de Trabajo Extremas y condiciones de trabajo Excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario (CT2) y (CT3,1) ³⁾	Más de uno de los factores con base estadística fiable	El mayor valor representativo de la energía cedida entre los correspondientes a cada uno de los buques que componen la flota esperable en el atraque, en las situaciones de carga límite de los mismos, en las cuales la variable del agente climático que define el estado meteorológico extremal o excepcional no es causa de limitación de las maniobras de atraque. Siendo el valor representativo de la energía cedida por un buque al sistema de atraque, el siguiente:			
		– El correspondiente al cuantil del 85% en la función de distribución de la energía cedida por el buque al sistema de atraque, obtenida como función derivada de las funciones de distribución, en las condiciones extremas o excepcionales consideradas, de los factores de los que depende. Dicha función derivada puede obtenerse por medio del ajuste de una función de distribución a los resultados obtenidos al introducir cada conjunto de valores de los factores, obtenidos de forma aleatoria (p.e mediante el método de Monte Carlo), en la formulación analítica.	–	–	–
Condiciones de Trabajo Excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario (CT3,2) ⁴⁾	–	–	–	–	–
Condiciones de Trabajo Extremas y Excepcionales debidas a la presentación de una acción Sísmica (CT3,31 y CT3,32) ⁴⁾	–	–	–	–	–

Notas

- 1) En el caso de que, de acuerdo con los criterios de explotación de la instalación, las operaciones de atraque de cada buque se realicen con los mismos medios auxiliares (p.e. con o sin remolcadores) independientemente de las condiciones climáticas, el valor más desfavorable de la velocidad de aproximación se corresponderá con la condición climática más desfavorable de entre las que se puede realizar la maniobra de atraque (condiciones límite de operatividad).
- 2) En general, en algunos emplazamientos, aparte de los asociados con el buque, el único factor que puede estar definido mediante un modelo de probabilidad fiable es la velocidad de aproximación del buque en momento del impacto. A su vez, es el factor más relevante para la definición de la energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque.
- 3) Únicamente se considerará la actuación de cargas de atraque en condiciones de trabajo extremas y excepcionales en aquellos casos en los que la presentación de una variable de un agente climático no sea causa de limitación de las maniobras de atraque para alguno de los buques esperables en atraque. El estado meteorológico en condiciones extremas y excepcionales, respectivamente a considerar como estado de proyecto en cada una de dichas condiciones de trabajo es el definido por dicha variable considerada como predominante (ver apartado 4.1.1.1.a, 4.1.1.1.b₁ y 4.6.2.1).
- 4) En condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de una acción accidental que no sea un agente climático extraordinario, así como en condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de una acción sísmica no se considera la actuación de cargas de atraque.

b₁₂₂) Para formulaciones probabilistas

La función de distribución de la energía cedida al sistema de atraque por la flota esperable en el atraque en cada ciclo de sollicitación en la que puedan presentarse cargas de atraque (condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de maniobras de atraque, así como, en su caso, condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario) puede definirse como una función derivada de:

- La función de densidad bivariada del parámetro principal y de la tipología de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque, así como las funciones de distribución de los distintos parámetros geométricos del buque (eslora, manga, calado estático,...), condicionadas a cada tipología y valor del parámetro principal, para las situaciones límite de carga del mismo ⁽⁶⁸⁾. A falta de otros datos, para cada valor del parámetro principal del buque la situación de carga del mismo puede definirse mediante una función uniforme discreta considerando únicamente como variables “buque a plena carga” y “buque en lastre”.
- La función de distribución de la energía cedida al sistema de atraque por cada uno de los buques y situaciones de carga de los mismos pertenecientes a la flota esperable en el atraque, correspondiente a la situación de trabajo considerado. Esta función de distribución podrá asimismo obtenerse como función derivada de las funciones de distribución de las variables climáticas y las de los factores de los que depende en la condición de trabajo considerada, tomando en consideración los factores que pueden considerarse independientes entre sí y los que están correlacionados. Como los factores correlacionados dependen fundamentalmente de las condiciones climáticas, se recomienda considerar la variable climática predominante en el emplazamiento en las condiciones de trabajo analizadas como variable principal. La definición de las funciones de distribución de las condiciones climáticas y del resto de factores a considerar en cada condición de trabajo, así como de la energía cedida al sistema de atraque por cada tipo y situación de carga del buque, se recoge en el epígrafe *b₁₂₁* de este apartado.

La función de distribución de la energía cedida al sistema de atraque en cada una de las condiciones de trabajo, considerando el conjunto de buques y situaciones de carga de los mismos, puede obtenerse por medio del ajuste de una función de distribución a los resultados obtenidos de forma aleatoria (p.e. mediante el método de Monte Carlo) a partir de las funciones de distribución que caracterizan a la flota esperable en el atraque y a la energía cedida al sistema de atraque por cada uno de los buques y situaciones de carga pertenecientes a dicha flota.

b₂) Modelos numéricos

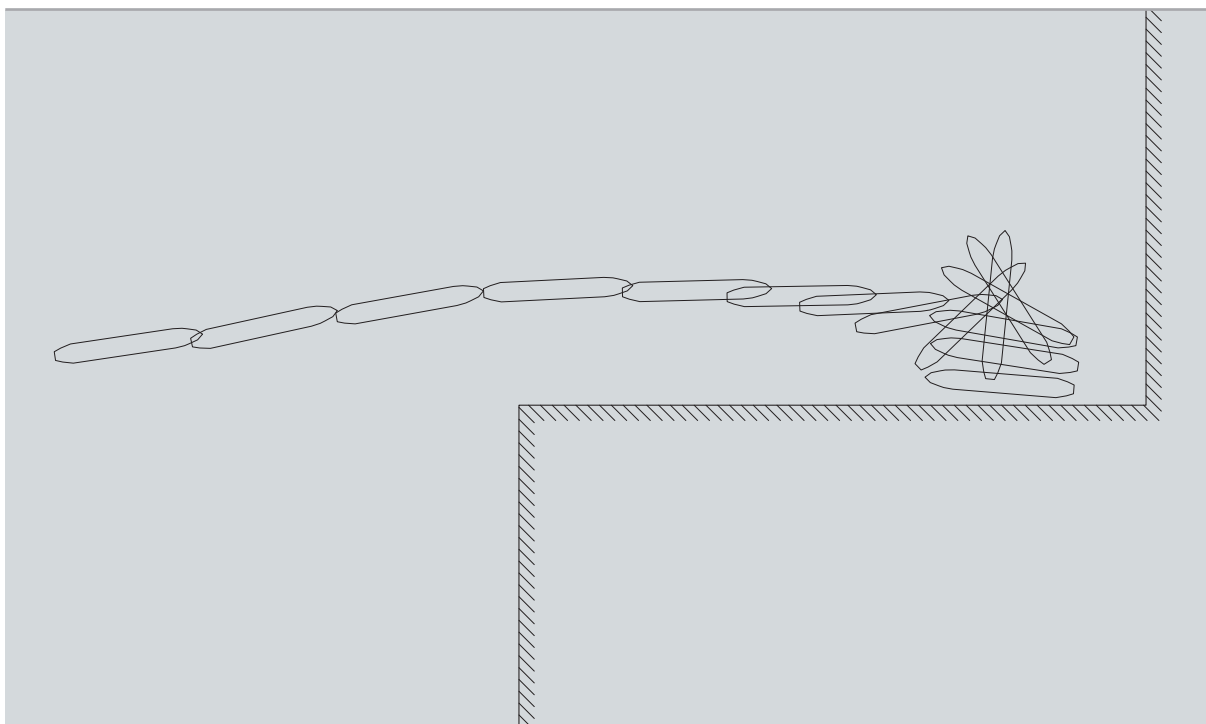
Los modelos numéricos más utilizados que permiten la obtención de la energía cinética desarrollada por un buque y cedida al sistema de atraque o directamente de las fuerzas de atraque son los modelos de simulación de maniobras de buques.

Existen actualmente disponibles en el mercado modelos fiables de simulación de maniobra que permiten definir la evolución de los movimientos del buque durante la maniobra de atraque,

(68) Simplificadamente, los parámetros geométricos del buque asociados a cada valor del parámetro principal es admisible que se definan a través de valores nominales, siempre que pueda considerarse como población todos los buques existentes en el mercado correspondientes a una tipología. Estos valores pueden obtenerse para cada tipología de buque a partir de los datos incluidos en la tabla 4.6.4.33 de esta Recomendación.

bien simplificada (Modelos 2D) mediante las series temporales de los desplazamientos horizontales y giro en planta (Ver figura 4.6.4.14.), bien de forma más completa mediante las series temporales correspondientes a los 6 grados de libertad que definen las oscilaciones del buque; es decir, los tres desplazamientos: vaivén, deriva y alteada, y los tres giros: cabeceo, balance y guiñada. Muchos de estos modelos suelen también suministrar como resultado la evolución de la dirección y magnitud de las velocidades y aceleraciones del buque en el dominio del tiempo y, por tanto, en el momento del impacto e, incluso las fuerzas de atraque cuando se pueden introducir en el modelo las características de rigidez y comportamiento del sistema de atraque.

Figura 4.6.4.14. Modelos numéricos de simulación de maniobras de buques. Ejemplo de gráfico de resultados de evolución de movimientos en planta



Para que dichos modelos puedan ser considerados fiables a estos efectos deberán integrar en la simulación la mayor parte de los factores que están involucrados en la maniobra de cada tipo de buque: características del buque, sistemas de propulsión y gobierno del buque (hélices transversales, efecto del timón, ...), efecto de los agentes ambientales (oleaje, corrientes, viento considerando su variación espacial y temporal), condiciones de contorno (profundidad, succión de orilla,...), utilización de medios auxiliares (remolcadores, amarras, ...) y factor humano, permitiendo una evaluación mucho más precisa tanto de la dirección y velocidad del buque en el momento del impacto como, en su caso, directamente de las cargas de atraque.

En función de la forma que tiene el modelo de simulación de incorporar la influencia del factor humano en el desarrollo de la maniobra se pueden distinguir dos tipos de modelos generales: los modelos con piloto automático que disponen de un algoritmo para mantener una trayectoria objetivo y que operan en tiempo acelerado, y los modelos en tiempo real en los que interactúa el Capitán o Práctico mediante el control de los parámetros básicos del buque, operando en un puente virtual con instrumentación real y radar sintético y percibiendo el movimiento del buque visto desde el puente en tiempo real sobre una pantalla (Ver ROM 3.1-99).

La utilización de modelos de simulación de maniobra en tiempo real es particularmente recomendable para buques con dispositivos que mejoran las condiciones de maniobrabilidad (p.e. hélices transversales), cuando las condiciones de aproximación del buque al atraque son difíciles o cuando la frecuencia de llegadas de buques al atraque es alta, dado que en estos casos la incidencia del factor humano es muy relevante para la definición de la energía cedida al sistema de atraque.

Estos modelos, para cada tipo y situación de carga de los buques esperables en la instalación, una vez definida una estrategia de aproximación al atraque y los medios auxiliares a utilizar en función de las condiciones climáticas, permiten repetir fácilmente la simulación para diferentes escenarios definidos en función de la variabilidad estadística de cada uno de los parámetros que inciden en la maniobra de atraque, particularmente las condiciones climáticas en que puede realizarse la maniobra de atraque en las distintas condiciones de trabajo y el factor humano. Tras cada simulación se almacena información completa de un gran número de variables que describen el proceso (velocidad de impacto, ángulo de aproximación, punto de contacto e, incluso, directamente las cargas de atraque). Esta información, dependiendo del número de simulaciones que realicemos de cada escenario, permitiría obtener las funciones de probabilidad conjuntas, marginales o condicionadas de cada una de dichas variables correspondientes a cada buque y situación de carga del mismo en las condiciones climáticas asociadas con las condiciones de trabajo que se deban considerar. Muchos modelos comerciales ya disponen de algoritmos que suministran directamente dichas funciones.

b₂₁) Definición de las situaciones a simular en los modelos numéricos

b₂₁₁) Definición de buques

Los buques a considerar serán los pertenecientes a la flota esperable en el atraque definida por el Promotor de la instalación, en las situaciones límite de carga consideradas.

Como mínimo deberán considerarse para cada tipología diferenciada de buque perteneciente a dicha flota (petrolero, gasero, granelero, portacontenedores,...), los buques de mayor y menor desplazamiento a plena carga incluidos en la misma, en las situaciones límite de carga consideradas. Si el Promotor no define expresamente las condiciones límite de carga se considerarán los buques tanto en situación de plena carga como en lastre.

Para cada uno de los buques y condiciones de carga a tomar en consideración en la simulación, se definirá la estrategia de aproximación al atraque y los medios auxiliares a utilizar en función de las condiciones climáticas en que tiene lugar la maniobra de atraque en cada una de las condiciones de trabajo que deban tomarse en consideración.

b₂₁₂) Definición de los estados meteorológicos y operativos

■ Para condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de maniobras de atraque en condiciones normales

Una vez determinadas, para cada buque, las condiciones límite de trabajo operativas correspondientes a la realización de las operaciones de atraque de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 4.6.4.4.3.1.1, los estados meteorológicos a simular para cada buque serán los definidos, para cada una de las variables para las que se han definido límites de operatividad, por:

- Valor umbral de operatividad para la realización de las maniobras de atraque de la variable del agente climático que se adopte como predominante, diferenciado, en su caso, por sectores direccionales de actuación.
- Valores representativos de compatibilidad en el emplazamiento, con el valor y dirección adoptados para la variable predominante, del resto de variables cli-

máticas de actuación simultánea (Ver apartado 4.1.1.1.c y epígrafe b_{121} de este apartado).

Cuando la estrategia de aproximación del buque al atraque y/o los medios auxiliares a utilizar para la maniobra de atraque varían en función de las condiciones climáticas, deberán simularse también estados meteorológicos más favorables que los correspondientes a las condiciones límite de operatividad asociadas con dicha condición de trabajo. En estos casos, los estados meteorológicos adicionales a simular para cada buque serán los definidos por:

- Valor límite más desfavorable de cada una de las variables climáticas en cada una de las condiciones climáticas definidas en la tabla 4.6.4.36 (favorables, moderadas, desfavorables) que sean más favorables que aquélla en la se incluya el umbral de operatividad de dicha variable, diferenciado, en su caso por sectores direcciones de actuación, consideradas sucesivamente como predominantes.
 - Valores representativos de compatibilidad en el emplazamiento, con el valor y dirección adoptados para la variable predominantes, del resto de variables climáticas de actuación simultánea.
- *Para condiciones de trabajo extremas y condiciones de trabajo excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario*

En aquellos casos en los que la presentación del parámetro principal del agente climático adoptado como predominante en alguna dirección no sea causa de limitación de las operaciones de atraque de alguno de los buques esperables en el atraque, deberán simularse estados meteorológicos extremos y extraordinarios asociados a dicha parámetro en dicha dirección, considerando únicamente su aplicación a los buques de la flota esperable en el atraque y situaciones de carga de los mismos en los que se produce dicha circunstancia.

Los estados meteorológicos a simular serán como mínimo los correspondientes a los siguientes valores de su parámetro principal:

- Cuantil de la distribución marginal de extremos de dicho parámetro en la dirección considerada correspondiente a un periodo de retorno, T_R , de 50 años (para probabilidades de presentación del modo de fallo analizado en condiciones extremas menor o igual al 5%).
- Cuantil correspondiente a una probabilidad de presentación igual a la probabilidad de fallo considerada para el modo de fallo analizado, tomado de la distribución de extremos marginal de dicho parámetro en la dirección considerada (para probabilidades de presentación del modo de fallo analizado en condiciones extremas mayor al 5%). En el caso de que las probabilidades de presentación asignadas a los diferentes modos de fallo analizados no sean las mismas o que se desee realizar el análisis mediante formulaciones probabilísticas, se simularán estados meteorológicos asociados con varios periodos de retorno del parámetro principal, debiéndose adoptar como mínimo 50, 100, 200 y 300 años.
- Cuantil de la distribución marginal de extremos de dicho parámetro en la dirección considerada correspondiente a un periodo de retorno, T_R , de 500 años.

Para el resto de parámetros del agente predominante, así como de los agentes desfavorables de actuación simultánea, tanto dependientes como independientes del predominante, se adoptarán los valores de compatibilidad establecidos para la condición de trabajo considerada (Ver apartados 4.1.1.1.a. y b_1 , así como epígrafe b_{121} de este apartado, sin superar, en su caso, el límite de operatividad que pudiera estar

establecido individualmente para el correspondiente agente para la realización de las maniobras de atraque.

- b₂₂) Definición de los diferentes factores que inciden en la maniobra de atraque y, en su caso, de las cargas de atraque mediante modelos numéricos

Para que se puedan obtener modelos de probabilidad suficientemente representativos de los distintos factores que inciden en la maniobra de atraque se requiere la realización de un elevado número de simulaciones de cada una de las situaciones. Lógicamente un mayor número de simulaciones aumentará la fiabilidad de los modelos de probabilidad obtenidos, pero debe equilibrarse con los costes de ejecución, los cuales son menores en los modelos con piloto automático que en los modelos en tiempo real. Es recomendable, como mínimo, repetir cada escenario de simulación 8-10 veces si se utilizan modelos en tiempo real y 15-20 veces si se utilizan modelos con piloto automático.

- b₂₂₁) *Para formulaciones deterministas y determinista-probabilistas*

Para la definición de los modelos de probabilidad de cada factor que incide en la maniobra de atraque (velocidad de aproximación, ángulo de aproximación, punto de contacto, ...) o, en su caso, con la carga de atraque, asociados a cada buque y situación de carga del mismo y a la condición de trabajo operativa correspondiente a la realización de las maniobras de atraque, se considerarán conjuntamente todos los resultados de las simulaciones realizadas correspondientes al parámetro analizado que pertenezcan a condiciones climáticas homogéneas, de acuerdo con la definición de las mismas realizadas en la tabla 4.6.4.36, en las que puedan realizarse las maniobras de atraque. El ajuste de estos datos a una función estadística, permitirá obtener la función de distribución del mismo para el buque y situación de carga del mismo considerada, condicionada a unas determinadas condiciones climáticas. Con carácter general y siempre que con los resultados obtenidos no se haya podido identificar una ley de variación más acorde con la variabilidad de los datos en el emplazamiento, se ha observado que estas funciones de distribución se ajustan razonablemente a una función de probabilidad del tipo Weibull de mínimos triparamétrica.

Una vez definidos los modelos de probabilidad de los distintos factores que inciden en la maniobra de atraque asociados con cada buque y situación de carga del mismo perteneciente a la flota esperable en el atraque, el valor característico de la energía cinética cedida al sistema de atraque en esta condición de trabajo podrá obtenerse de acuerdo con la metodología definida para modelos analíticos para los casos en los que haya más de un factor definido con base estadística fiable (Ver epígrafe b₁ de este apartado). En el caso de que los modelos numéricos proporcionen como resultado directamente las cargas de atraque, para cada tipo, característica y situación de carga del buque que utiliza el atraque, se definirá como valor representativo de las cargas de atraque en esta condición de trabajo el valor más desfavorable correspondiente al 95% de probabilidad de no exceedencia en las funciones de distribución de dichas cargas, condicionadas a cada una de las condiciones climáticas y operativas en las que puede tener lugar el atraque en condiciones normales operativas. Se adoptará como valor característico de las cargas de atraque el más desfavorable de los valores representativos de entre los correspondientes a cada buque y situación de carga.

En el caso de que deban considerarse condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario, para la definición de los modelos de probabilidad de los factores que inciden en la maniobra de atraque o, en su caso, de las cargas de atraque, en cada uno de los estados meteorológicos extremos o excepcional, se tomarán en consideración únicamente los resultados obtenidos de las simulaciones correspondientes al estado meteorológico extremal o excepcional considerado.

Una vez definidos los modelos de probabilidad de los factores, el valor de compatibilidad de la energía cedida al sistema de atraque en condiciones extremas o excepcionales podrá obtenerse de acuerdo con la metodología definida para los modelos analíticos para los casos en los que haya más de un factor definido con base estadística (Ver epígrafe b_1 de este apartado). En el caso de que los modelos numéricos proporcionen como resultado directamente las cargas de atraque, para cada tipo, características y situación de carga del buque que utiliza el atraque, se definirá como valor representativo de las cargas de atraque en esta condición de trabajo el correspondiente al 85% de probabilidad de no excedencia en las funciones de distribución de dichas cargas, condicionada a las condiciones climáticas extremas o excepcionales consideradas. Se adoptará como valor de compatibilidad de las cargas de atraque en estas condiciones de trabajo el más desfavorable de los valores representativos de entre los correspondientes a cada buque y situación de carga para los que la variable que define el estado meteorológico extremo o excepcional considerado no es causa de limitación de las maniobras de atraque.

b_{222}) *Para formulaciones probabilistas*

- *Para condiciones de trabajo operativas correspondientes a la realización de maniobras de atraque en condiciones normales*

En el caso de que los modelos numéricos proporcionen como resultado directamente las cargas de atraque y puedan definirse los modelos de probabilidad de las mismas, la función de distribución de las cargas de atraque en condiciones normales operativas correspondiente a la realización de las maniobras de atraque puede definirse como una función derivada de:

- La función de densidad bivariada del parámetro principal y de la tipología de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque, así como las funciones de distribución de los distintos parámetros geométricos del buque (eslora, manga, calado estático,...), condicionadas a cada tipología y valor del parámetro principal, para las situaciones límite de carga del mismo ⁽⁶⁹⁾. A falta de otros datos, para cada valor del parámetro principal del buque la situación de carga del mismo puede definirse mediante una función uniforme discreta considerando únicamente como variables “buque a plena carga” y “buque en lastre”.
- Las funciones de distribución de las variables climáticas para condiciones normales operativas, definidas de acuerdo con lo dispuesto en el epígrafe b_{121} de este apartado ⁽⁷⁰⁾.
- La función de distribución de las cargas de atraque correspondientes a cada buque y situación de carga del mismo, condicionada a cada una de las condiciones climáticas en las que puede realizar la maniobra de atraque, definida de acuerdo con lo dispuesto en el epígrafe b_{221} de este apartado.

En el caso de que los modelos numéricos proporcionen como resultado únicamente alguno de los factores que inciden en la maniobra de atraque (velocidad de aproximación, ángulo de aproximación, etc...) y puedan definirse, para cada buque y situación

(69) Simplificadamente, los parámetros geométricos del buque asociadas a cada valor del parámetro principal es admisible que se definan a través de valores nominales, siempre que pueda considerarse como población todos los buques existentes en el mercado correspondientes a una tipología. Estos valores pueden obtenerse para cada tipología de buque a partir de los datos incluidos en la tabla 4.6.4.33 de esta Recomendación.

(70) Para condiciones normales operativas, las condiciones climáticas se definirán por medio de las funciones de distribución anual conjunta (magnitud/dirección) de las variables principales de los agentes climáticos independientes entre sí, así como, para las variables dependientes de las anteriores, por medio de las funciones de distribución conjunta magnitud-dirección, condicionadas a cada valor y, en su caso, dirección, de la variable principal de la que dependen. Dichas funciones de distribución estarán truncadas, en su caso, por el valor umbral límite de operatividad correspondiente al buque considerado definido para la variable en cada dirección para la realización de las maniobras de atraque.

de carga del mismo, las funciones de probabilidad de dichos factores condicionadas a cada una de las condiciones climáticas en que se puede realizar la maniobra de atraque, podrá definirse la función de distribución de la energía cinética cedida al sistema de atraque de igual forma que lo dispuesto al respecto en el epígrafe b_{122} de este apartado para formulaciones probabilistas mediante la utilización de modelos analíticos.

- *Para condiciones de trabajo extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario*

Para condiciones extremas o excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario, la determinación de las funciones de distribución de las cargas de atraque se realizará de igual forma que para condiciones normales operativas correspondientes a la realización de las maniobras de atraque como función derivada de:

- La función de densidad bivariada del parámetro principal y de la tipología de los buques pertenecientes a la flota esperable en el atraque, así como las funciones de distribución de los distintos parámetros geométricos del buque (eslora, manga, calado estático,...), condicionadas a cada tipología y valor del parámetro principal, para las situaciones límite de carga del mismo. A falta de otros datos, para cada valor del parámetro principal del buque la situación de carga del mismo puede definirse mediante una función uniforme discreta considerando únicamente como variables “buque a plena carga” y “buque en lastre”.
- Las funciones de distribución de las variables climáticas para condiciones extremas, definidas de acuerdo con lo dispuesto en el epígrafe b_{121} de este apartado.
- La función de distribución de las cargas de atraque, correspondientes a cada buque y situación de carga del mismo en los cuales la variable del agente climático que define los estados meteorológicos extremos y excepcionales no es causa de limitación de las maniobras de atraque, condicionada a cada uno de los valores de la variable principal que define la condición extremal o extraordinaria considerada.

En el caso de que los modelos numéricos proporcionen como resultado únicamente alguno de los factores que inciden en la maniobra de atraque (velocidad de aproximación, ángulo de aproximación, etc...) y puedan definirse, para cada buque y situación de carga del mismo, las funciones de probabilidad de dichos factores condicionadas a cada uno de los valores extremos de la variable que define los estados meteorológicos extremos considerado, podrá definirse la función de distribución de la energía cinética cedida al sistema de atraque en estas condiciones de trabajo de igual forma que lo dispuesto al respecto en el epígrafe b_{122} de este apartado para formulaciones probabilistas mediante la utilización de modelos analíticos.

Para definir estas funciones de distribución de las cargas de atraque o, en su caso, de los factores que inciden en la maniobra de atraque, condicionadas a cada uno de los valores extremos de la variable que define los estados meteorológicos extremos considerados es necesario simular un número más elevado de estados meteorológicos extremos que los recomendados en el epígrafe b_{212} . Por dichas razones, salvo para flotas esperables en el atraque de carácter muy homogéneo, no suele ser asumible la obtención de estas funciones mediante modelos numéricos a causa de su alto coste.

c) **Modelos experimentales**

Aunque también podrían utilizarse prototipos a escala real, los modelos experimentales que normalmente se consideran a estos efectos son los modelos físicos en modelo reducido.

Los modelos físicos en modelo reducido con escalas usualmente del orden de 1:20 a 1:50 se utilizan para la predicción de las maniobras de los buques y, por tanto, para determinar los movimientos de los mismos durante la aproximación al atraque en las diferentes condiciones climáticas y operativas. Dichos modelos, al igual que los modelos numéricos equivalentes, permiten definir los parámetros fundamentales (magnitud y dirección de la velocidad del buque, el ángulo de aproximación al atraque y el punto de impacto,...) necesarios para una determinación más precisa de la energía cinética cedida al sistema de atraque por medio de las formulaciones analíticas en uso. Normalmente los modelos físicos no pueden proporcionar de forma fiable directamente las cargas de atraque debido a las dificultades de escalar adecuadamente los parámetros de rigidez y comportamiento del sistema de atraque simultáneamente con los correspondientes a los otros factores que inciden en los movimientos del buque.

Las instalaciones actualmente existentes en el mercado con posibilidades de realizar este tipo de ensayos están principalmente asociadas con la industria naval y están dedicadas fundamentalmente a la optimización de las características geométricas y de propulsión de los buques y al análisis de sus condiciones de respuesta y maniobrabilidad en áreas confinadas, así como a la formación de tripulantes y prácticos. Dichos ensayos se realizan en tanques de tamaño y profundidad adecuada y con buques a escala, autopropulsados y tripulados, permitiendo por tanto tomar en consideración la influencia del factor humano en la maniobra. En la actualidad, estos modelos pueden incorporar muchos de los factores que afectan a la maniobra de atraque como los efectos de vientos, corrientes y oscilaciones del mar, la utilización de remolcadores y otros medios auxiliares, los efectos del contorno, ..., por lo que su fiabilidad para predecir la maniobras de aproximación al atraque y, por tanto, su utilización para la determinación de la energía cedida al sistema de atraque puede considerarse elevada.

Se recomienda el uso de modelos experimentales en aquellos casos en los que se supere el rango de validez o la fiabilidad del resto de métodos de cuantificación de la energía de atraque y, particularmente, en el caso de configuraciones y tipologías de atraque no cubiertas o cubiertas con grandes incertidumbres por dichos métodos. No obstante, el amplio desarrollo en los últimos años de los modelos numéricos, potenciado por la evolución tecnológica del equipamiento informático, y en especial de los modelos de simulación de maniobras en tiempo real que incorporan con más amplitud el factor humano, ha hecho que la utilización a estos efectos de los modelos experimentales sea en la actualidad muy reducida en razón de su mayor coste y de la necesidad de mayores tiempos de operación, limitándose su uso a los procesos de verificación y validación de los modelos numéricos, a la determinación de los coeficientes hidrodinámicos del buque necesarios para su introducción en los modelos numéricos y como input de dichos modelos con el objeto de definir previamente u optimizar la estrategia de aproximación al atraque en casos de maniobras especialmente complejas.

Las situaciones a simular en los modelos experimentales correspondientes a cada condición de trabajo serán idénticas a las definidas para modelos numéricos (Ver epígrafe b_{21} de este apartado).

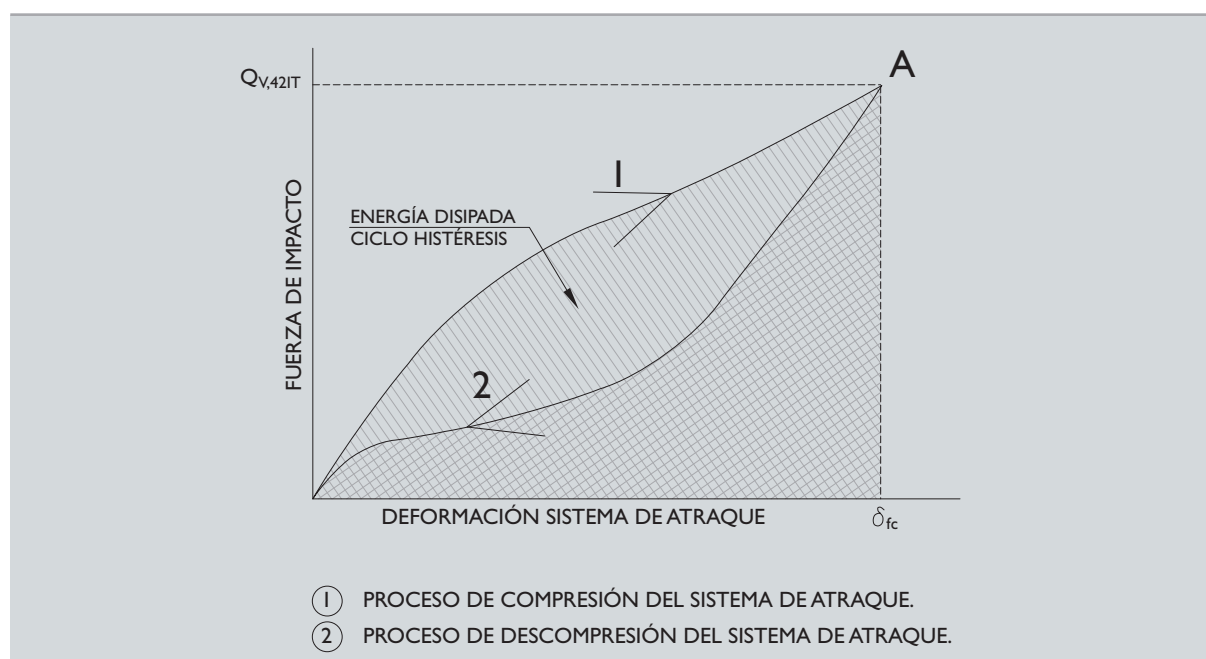
En el caso de aplicación de estos métodos experimentales, la definición de la energía cinética desarrollada por el buque y cedida al sistema de atraque podrá realizarse mediante la aplicación de los modelos matemáticos analíticos descritos en los subapartados anteriores, una vez determinados los modelos de probabilidad de los distintos parámetros que intervienen en la formulación (velocidad de aproximación, ángulo de aproximación,...) a partir de los resultados obtenidos por medio de la repetición de los ensayos en modelo físico de las maniobra de atraque correspondientes a cada una de las situaciones a simular, de forma equivalente a lo señalado para los modelos matemáticos numéricos.

4.6.4.4.3.1.3. Definición de la fuerza de impacto ($Q_{v,42|T}$)

La fuerza de impacto, o reacción perpendicular al frente de atraque, a la que está sometido simultáneamente el sistema de atraque y el casco del buque en cada impacto ($Q_{v,42|T}$) será función de la energía cinética cedida al sistema de atraque (E_f) y de sus características de deformación. Se considerará como sistema de atraque al conjunto formado por la estructura y por el sistema de defensas cuando este último exista.

La energía que es absorbida por el sistema de atraque durante el proceso de compresión asociado a cada impacto del buque es parcialmente devuelta al mismo (el buque es empujado por el sistema de atraque) y parcialmente disipada en forma de calor en el interior del material (ciclo de histéresis). El área comprendida entre las curvas fuerza/desplazamiento correspondiente a los procesos de compresión y descompresión es la energía disipada como resultado del fenómeno de histéresis (Ver figura 4.6.4.15). En general, los ratios entre energía disipada y energía recibida suelen estar en el rango 0,1-0,4, dependiendo de la rigidez del sistema de atraque. A partir del primer impacto la energía residual del buque se absorbe por el propio movimiento del buque, por el trabajo de las líneas de amarre que pudieran estar ya conectadas, por la acción, en su caso de los remolcadores, así como por los ciclos de histéresis asociados con los sucesivos impactos del buque con el sistema de atraque hasta alcanzarse la posición correspondiente a buque atracado. En las condiciones de explotación de la instalación de atraque deberán introducirse criterios de buena práctica para la realización de las maniobras de atraque que eviten que el 2º impacto y sucesivos puedan ser mayores que el impacto inicial.

Figura 4.6.4.15. Curvas de comportamiento del sistema de atraque durante el ciclo de histéresis asociado a cada impacto del buque



Una vez que la máxima energía cinética desarrollada por los buques y cedida al sistema de atraque asociada al impacto inicial ha sido definida a través de sus valores representativos o de sus modelos de probabilidad de acuerdo con los procedimientos establecidos en el apartado 4.6.4.4.3.1.2, los valores representativos de las fuerzas de impacto y, en su caso, sus funciones de probabilidad a considerar podrán derivarse de los mismos por medio de los valores representativos o nominales de las curvas de comportamiento o curvas fuerza/desplazamiento horizontal de la estructura y de la defensa (Curvas $Q_{v,42IT}/\delta_{fc}$) ⁽⁷¹⁾, considerando que la energía cinética total cedida al sistema de atraque deberá ser absorbida conjuntamente por la defensa y por la estructura resis-

(71) Los fabricantes de defensas suministran también adicionalmente como curvas de comportamiento las que relacionan energía absorbida/desplazamiento horizontal. En estos casos, la fuerza de impacto asociada a la energía cedida se puede definir directamente a partir de dichas curvas, obteniendo primero la deformación asociada con la energía cedida en la curva correspondiente para, con dicho valor de la deformación, obtener posteriormente la reacción asociada a la misma en la curva fuerza/desplazamiento (Ver figura 4.6.4.17.).

tente. La fuerza de impacto a considerar podrá tomarse como aquella para la cual la suma de las energías absorbidas aisladamente por la defensa y por la estructura de atrache correspondientes a dicha reacción es igual a la energía cinética total cedida. Esta hipótesis implica considerar que la máxima deformación horizontal de la defensa tiene lugar al mismo tiempo que la máxima deformación horizontal de la estructura. En los casos en los que la estructura de atrache sea mucho más rígida que las defensas, podrá considerarse simplíficadamente que el sistema de defensas absorbe toda la energía cinética cedida y que la estructura de atrache soporta las cargas generadas en las defensas.

La energía absorbida individualmente tanto por la defensa como, en su caso, por la estructura de atrache podrá obtenerse como el área comprendida entre la correspondiente curva reacción/deformación horizontal de cada uno de dichos elementos que conforman el sistema de atrache y el eje de abcisas desde deformación cero hasta la deformación de la defensa y de la estructura, respectivamente, asociadas al valor de la fuerza de impacto, siendo el eje de abcisas el de las deformaciones (Ver figura 4.6.4.16.A). Bajo estas hipótesis, el reparto de la energía total absorbida entre la estructura de atrache y la defensa se puede obtener mediante un proceso iterativo, hasta que se alcance la fuerza de impacto que de lugar a que la suma de la energía absorbida por cada uno de los elementos que conforman el sistema de atrache para un mismo valor de la fuerza de impacto iguale a la energía total cedida al sistema de atrache ⁽⁷²⁾.

Es decir, la energía cinética absorbida por el sistema de atrache puede expresarse como:

$$E_f = E_{f,defensa} + E_{f,estructura} = Q_{v,42|T} (f_{defensa} \cdot \delta_{fc,defensa} + f_{estructura} \cdot \delta_{fc,estructura}) = Q_{v,42|T} (\varepsilon_{defensa} + \varepsilon_{estructura})$$

Siendo:

$f_{elemento}$: factor que indica el porcentaje de energía absorbida por el elemento del sistema de atrache considerado respecto del producto $Q_{v,42|T} \cdot \delta_{fc,elemento}$

$\varepsilon_{elemento}$: parámetro, con unidades de longitud, que se define como el rendimiento del elemento del sistema de atrache en el punto de su curva de comportamiento correspondiente al valor de la fuerza de impacto. Es decir, en general el rendimiento de un elemento del sistema de defensa en un punto i de su curva de comportamiento es:

$$\varepsilon_i = f_i \cdot \delta_{fc,i} = \frac{E_{f,i}}{Q_{v,42|T,i}}$$

Dicho parámetro, asociado con la curva fuerza/desplazamiento representativa del elemento del sistema de atrache considerado, es un indicador de la eficiencia en la absorción energética del mismo en cada punto de su curva de comportamiento y, por tanto, de la severidad del impacto asociado con cada nivel energético.

Valores altos de f y ε indican altos rendimientos energéticos del elemento del sistema de atrache considerado; es decir, una gran capacidad de absorción de energía por unidad de fuerza de impacto transmitida, dando lugar a menores fuerzas de impacto y, en general, a mayores deformaciones. Por el contrario, valores bajos indican bajos rendimientos energéticos; es decir, una menor capacidad de absorción de energía por unidad de fuerza de impacto transmitida, dando lugar mayores fuerzas de impacto para absorber la misma energía de atrache pero, en general, con menores deformaciones.

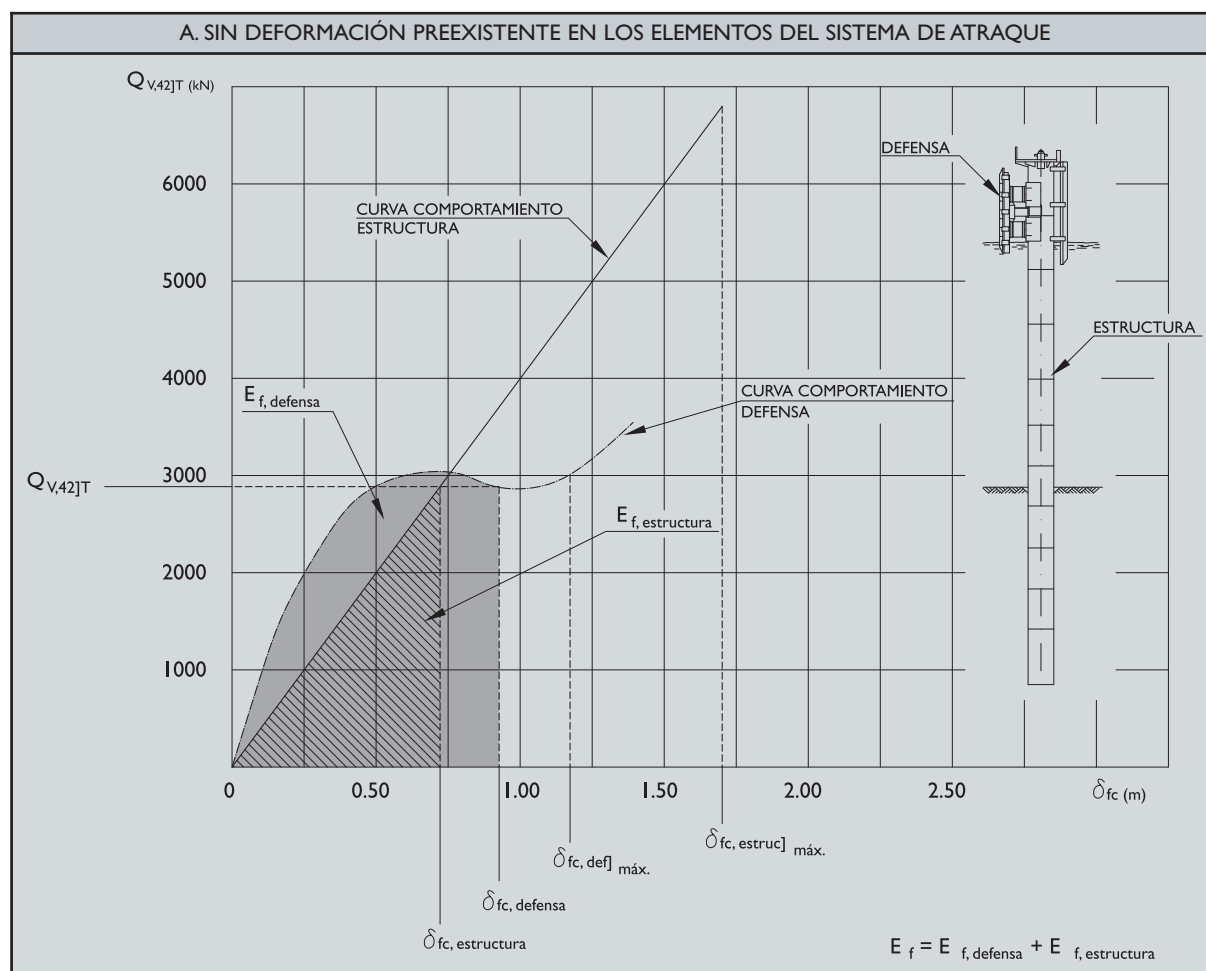
A los efectos de la consideración de los elementos que forman el sistema de atrache, pueden considerarse como valores altos de ε los situados en el rango entre 1,0-0,2 m. Para cada nivel energético, los elementos del sistema de atrache situados en dicho rango se considerarán flexibles. Valores de ε entre 0,2 y 0,03 m pueden considerarse valores intermedios y por debajo de 0,03 m pueden considerarse bajos. En este último caso los ele-

(72) Esta hipótesis de reparto energético es también aplicable a sistemas de defensas dobles o múltiples en serie. Este sistema puede utilizarse en casos en que sea necesario readaptar una obra de atrache existente a la evolución de la demanda, bien hacia buques de mayor desplazamiento bien a un rango mayor de buques, aprovechando el sistema de atrache existente, con el objetivo de mantener las mismas fuerzas de impacto sobre la estructura resistente y las presiones sobre el casco del buque en valores admisibles.

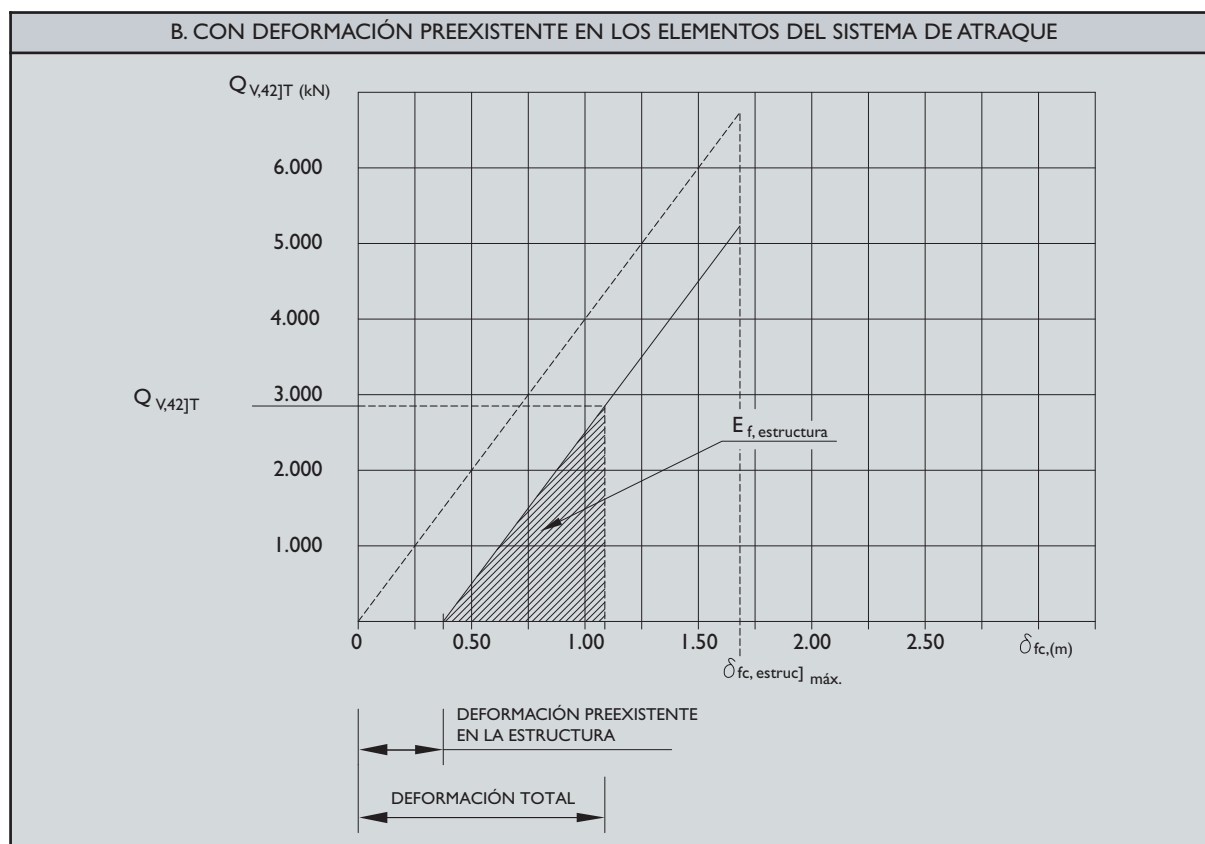
mentos del sistema de atraque se considerarán rígidos. En resumen, los elementos rígidos de los sistemas de atraque son fundamentalmente transmisores de energía y, por tanto, se utilizan cuando se desea principalmente proteger las superficies de contacto, transmitiendo altas fuerzas de impacto; mientras que los flexibles son fundamentalmente absorbedores de la energía y, por tanto, se utilizan principalmente cuando se desea transmitir pequeñas fuerzas de impacto. El grado de flexibilidad o rigidez de los sistemas de defensa también tienen una incidencia significativa en las cargas de amarre, en el comportamiento dinámico del sistema buque/sistema de amarre/sistema de atraque y en los movimientos del buque amarrado (Ver apartado 4.6.4.4.7.1.1).

Cuando la estructura de atraque tenga una deformación horizontal preexistente en el momento del impacto debido, por ejemplo, a la actuación simultánea de otras cargas sobre dicha estructura (p.e. cargas de amarre) o a la existencia de deformaciones remanentes en la misma producidas por la actuación de cargas repetidas, o cuando el sistema de defensa presente dicho tipo de deformación debido, por ejemplo, a la precarga generada por las cadenas o tensores utilizados para fijar la posición de los escudos, la energía absorbida por cada uno de los elementos del sistema de atraque se obtendrá como el área comprendida entre la correspondiente curva reacción/deformación del elemento considerado, en su caso desplazada horizontalmente el valor del desplazamiento horizontal preexistente o remanente en dicho elemento, y el eje de abscisas desde la deformación, en su caso, preexistente o remanente hasta la deformación total del elemento (Ver figura 4.6.4.16.B).

Figura 4.6.4.16. Metodología para la determinación de la fuerza de impacto a partir de las curvas de comportamiento o de fuerza/desplazamiento horizontal de la defensa y de la estructura de atraque



Metodología para la determinación de la fuerza de impacto a partir de las curvas de comportamiento o de fuerza/desplazamiento horizontal de la defensa y de la estructura de atraque (continuación)



En general, la fuerza de impacto máxima estará determinada en gran medida por el comportamiento de la defensa cuando exista, ya que normalmente ésta se suele seleccionar con una significativa menor rigidez relativa respecto a la estructura de atraque en el nivel energético considerado, por lo que puede admitirse que la mayor parte de la energía es absorbida por la defensa. No obstante lo anterior, en algunos casos (p.e. estructuras de atraque formadas por duques de alba flexibles), se suelen adoptar defensas de similar rigidez que la estructura de atraque con el objeto de compartir entre ambas la capacidad de absorción energética para optimizar económicamente el sistema de atraque, o bien de mayor rigidez que la estructura de atraque en el nivel energético considerado con una función básicamente de protección de las superficies de contacto y, en particular, de reducción de las presiones sobre el casco de los buques. En este último caso puede considerarse que es la estructura de atraque la que absorbe prácticamente la totalidad de la energía cinética de atraque.

a) Valores representativos de las propiedades de los sistemas de atraque: valores característicos de las curvas de comportamiento

Las propiedades de los elementos que forman los sistemas de atraque (defensa y estructura) se definen mediante sus curvas de comportamiento. Las curvas de comportamiento son las funciones que relacionan la fuerza de impacto (o la energía absorbida) por cada uno de los elementos del sistema de atraque en función del desplazamiento horizontal en el punto de impacto. Se definen y caracterizan comúnmente a través de su forma gráfica, debiéndose identificar explícitamente los siguientes valores y zonas (Ver figura 4.6.4.17):

- ◆ Desplazamiento maximal ($\delta_{fc,max}$): Desplazamiento horizontal a partir del cual la deformación deja de ser recuperable. Este valor depende de las características tipológicas, resistentes y de deforma-

bilidad del elemento del sistema de atraque considerado y, en el caso de la estructura de atraque, también del terreno de cimentación. En general, en el caso de las defensas varía entre el 40% y el 60% de las dimensiones horizontales de la defensa. El desplazamiento maximal divide el dominio admisible del dominio último.

- ◆ Desplazamiento último ($\delta_{fc,u}$): Desplazamiento asociado al fallo o agotamiento del elemento del sistema de atraque, bien estructuralmente, bien, en su caso, del terreno de cimentación. Este valor depende de las características del elemento considerado. En general, en el caso de las defensas es menor del 75% de las dimensiones horizontales de la misma cuando el desplazamiento maximal está entre el 40 y el 60%.
- ◆ Fuerza de impacto asociada al desplazamiento maximal ($Q_{v,42|T,max}$)
- ◆ Fuerza de impacto maximal ($Q_{v,42|T,max}$): Fuerza de impacto máxima que puede transmitir el elemento del sistema de atraque en el dominio admisible. Este valor no tiene necesariamente que corresponder con el asociado al desplazamiento maximal.
- ◆ Energía maximal ($E_{f,max}$): Máxima energía que puede absorber el elemento del sistema de atraque en el dominio admisible.

En general, para un mismo tipo de defensas (mismo tipo de curva de comportamiento) los fabricantes suelen utilizar los valores de la fuerza de impacto asociada al desplazamiento maximal y de la energía maximal como identificación de cada una de las defensas (Ver figura 4.6.4.17).

a₁) Curvas de comportamiento de las defensas

a₁₁) En sistemas de defensa formados por una sola unidad

Las curvas de comportamiento de las defensas son suministradas por los fabricantes de las mismas, en general para unidades individuales, en unas condiciones determinadas de velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto, de temperatura, de dirección del impacto, número de ciclos de compresión recibidos y de otros parámetros susceptibles de influir en las curvas de comportamiento. Es común que se adopten como condiciones normalizadas para la definición de las curvas de comportamiento las siguientes:

- compresión uniforme.
- velocidad inicial de compresión de 0,15 m/s, con reducciones no mayores de 0,005 m/s durante el ensayo.
- $23 \pm 5^\circ\text{C}$ de temperatura, durante por lo menos 24 horas antes del ensayo.
- 0° de ángulo de aproximación.
- ciclos de compresión finaliza cuando se alcanzar el desplazamiento maximal.
- pausa de por lo menos una hora después de cada ciclo de compresión.
- curvas de comportamiento elaboradas con los datos registrados durante el tercer ciclo de compresión.

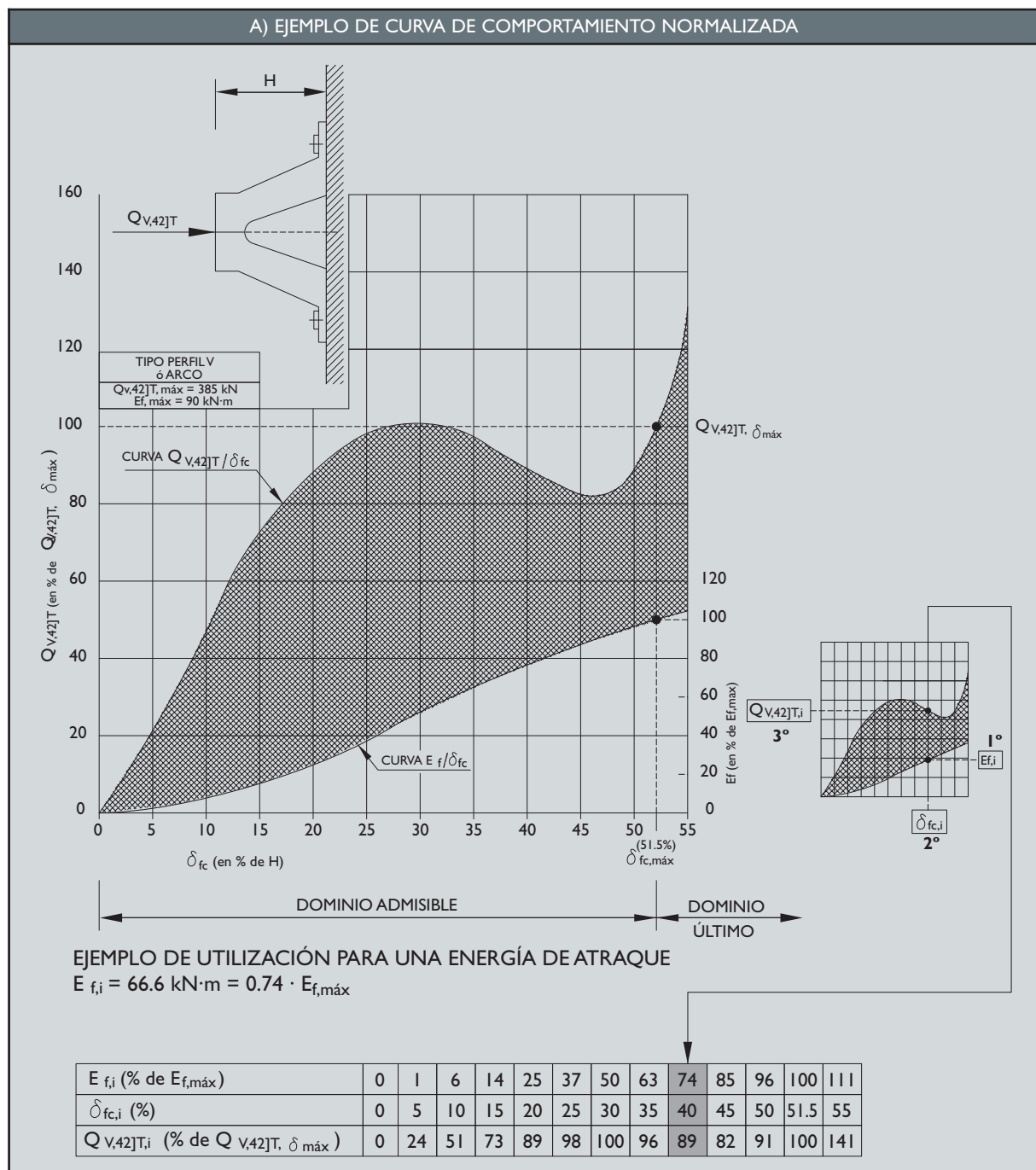
Los fabricantes de las mismas también suministran los factores de corrección asociados a cada defensa que permiten definir la curva de comportamiento cuando se dan otras condiciones distintas a las del ensayo (Ver figura 4.6.4.17). En general, para una misma energía de atraque las bajas temperaturas tienden a rigidizar la defensa, lo cual conlleva un incremento de las fuerzas de impacto. Por el contrario las altas temperaturas tienden a flexibilizarla, reduciendo su capacidad de absorción de energía para una deformación dada. Menores velocidades de compresión dan lugar a menores fuerzas de impacto y mayores compresiones no uniformes ⁽⁷³⁾

(73) Las deformaciones no uniformes de la defensa pueden ser tanto en el plano horizontal como vertical y son debidas a:

- El ángulo oblicuo de aproximación del buque al atraque.
- La forma del casco del buque en planta en el punto de contacto.
- La forma del casco del buque en alzado en el punto de contacto.
- La existencia de una o varias alineaciones de cintones o burletes perimetrales (particularmente en buques ro-ro, ferries, transportadores de coches, cruceros, barcasas y buques auxiliares de pequeño desplazamiento), así como cajas de servicio, en el casco del buque que

reducen la capacidad de absorción de energía para una deformación dada. Para ciclos de compresión crecientes la tendencia es a la reducción de la fuerza de impacto. Con estas correcciones, los fabricantes garantizan, a través de la realización de los correspondientes ensayos, el cumplimiento de las curvas de comportamiento con determinadas tolerancias. Las tolerancias máximas deberán ser suministradas específicamente para cada tipo de defensa por los fabricantes de las mismas. No se considerarán admisibles tolerancias mayores del +10% en la fuerza de impacto y del -10% en la energía absorbida.

Figura 4.6.4.17. Ejemplo de curvas de comportamiento de una defensa en condiciones normalizadas y factores de corrección para otras condiciones



Ejemplo de curvas de comportamiento de una defensa en condiciones normalizadas y factores de corrección para otras condiciones (continuación)

B) FACTORES DE CORRECCIÓN PARA CONDICIONES DIFERENTES A LAS NORMALIZADAS, ASOCIADAS AL TIPO DE DEFENSA CONSIDERADA EN A)					
FACTOR DE COMPRESIÓN NO UNIFORME		FACTOR DE TEMPERATURA		FACTOR DE VELOCIDAD	
Ángulo (°)	$\gamma_{oblicuidad}$	Temperatura (°)	γ_{temp}	t (s)	$\gamma_{velocidad}$
0	1,000	50	0,882	1	1,014
3	0,963	40	0,926	2	1,005
5	0,952	30	0,969	3	1,004
8	0,939	28	1,000	4	1,003
10	0,924	10	1,056	5	1,003
15	0,817	0	1,099	6	1,002
20	0,535	-10	1,143	8	1,000
		-20	1,186	≥ 10	1,000
		-30	1,230	t = tiempo de compresión $t = 2\delta f_{c,i}/V_i$ $\delta f_{c,i}$ = Deformación defensa V_i = Velocidad de impacto del buque	

Las curvas de comportamiento se consideran de validez para el periodo de servicio fijado por el fabricante definido normalmente en términos de número ciclos. Con el paso del tiempo, las defensas sufren un proceso paulatino de envejecimiento, perdiendo sus características elásticas y parte de su material por abrasión con el casco de los buques, debiendo sustituirse cuando finaliza dicho periodo de servicio. En general, los fabricantes garantizan las curvas de comportamiento para un mínimo de 3.000 ciclos.

En cada ciclo de sollicitación (condición de trabajo) en que puedan presentarse cargas de atraque, las propiedades de la defensa definidas a través de las curvas de comportamiento normalizadas, modificadas considerando los factores de corrección asociados con el valor representativo adoptado para la energía de atraque en dicha condición de trabajo (valores representativos de la velo-

pueden dar lugar a que la totalidad de la carga actúe sobre una zona reducida, al doble contacto y a la excentricidad de la fuerza de impacto. La profundidad de los burletes suele estar en el rango entre 200 y 400 mm.

- Impacto excéntrico el contacto entre el casco del buque y el sistema de defensa se realiza en un área reducida y excéntrica de la defensa debido a que el casco del buque no tiene contacto completo con la defensa (puede presentarse particularmente con el nivel inferior de las aguas exteriores en zonas con marea astronómica significativa y buques en situaciones de carga que presenten francobordos reducidos).
- Desalineación del *manifold* en relación con el centro del buque en buques gaseros.

La influencia de la forma del casco en planta debe tomarse en consideración particularmente cuando el punto de contacto considerado esté en las proximidades de la proa o popa del buque.

En general, la influencia de la forma en alzado del casco del buque en el punto de contacto no se considera significativa a estos efectos, dado que la sección del buque en el punto de contacto es prácticamente vertical, independientemente de la posición del punto de contacto en el buque. No obstante, en buques de nueva generación y particularmente en los portacontenedores, transportadores de coches y ro-ro este efecto no debe despreciarse. Por ejemplo, en este tipo de buques se presentan ángulos del casco del buque en alzado en el punto de contacto con la defensa que pueden oscilar entre 10-15° con ángulos de aproximación al atraque de 5° hasta 20-50° con ángulos de aproximación de 10°. Como criterio general, puede aceptarse que los buques con coeficiente de bloque grande presentan menores ángulos del casco en alzado.

Por otra parte, cuando se puedan producir compresiones no uniformes de las defensas será necesario comprobar los recorridos reforzados de las cadenas, pernos y otros elementos de sujeción, ya que se pueden ver sometidos a deformaciones incompatibles con la configuración del sistema de defensas. Es decir, hay que verificar la compatibilidad geométrica del sistema de defensas para adaptarse a la superficie de contacto del casco del buque.

cidad de aproximación, posición del punto de contacto, tanto respecto al casco del buque como al sistema de defensa considerando el nivel superior e inferior de las aguas exteriores, y oblicuidad del impacto asociados a dicho valor representativo) y las tolerancias máximas definidas por el fabricante, podrán considerarse en general para cada tipo de buque y situación de carga del mismo de carácter permanente para el nivel inferior y superior de las aguas exteriores compatible con dicho valor representativo, pudiéndose adoptar simplificadaamente como valores característicos o nominales de la misma, tanto si las ecuaciones de verificación se escriben en formato determinista o semi-probabilista como probabilista. Esto es admisible al estar los procesos de fabricación de las defensas sometidos a procesos de control de calidad rigurosos que limitan enormemente la variabilidad de sus propiedades y a la poca variabilidad de los factores de corrección en cada condición de trabajo, salvo el factor de temperatura al variar las propiedades de las defensas significativamente con la temperatura. Para tener en cuenta esta variabilidad, del lado de la seguridad, el valor característico o nominal de las curvas de comportamiento para la definición de las fuerzas de impacto en condiciones normales operativas correspondientes a la realización de las maniobras de atraque será el asociado a la temperatura correspondiente al cuantil de la probabilidad anual de no excedencia del 5% en la función de distribución de la temperatura mínima del aire a la sombra en el emplazamiento (régimen medios marginales. Ver apartado 4.6.2.3. Agente térmico). En el caso de que deban considerarse condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario se adoptará el valor de la temperatura mínima en el emplazamiento correspondiente a un periodo de retorno de 5 años (régimen extremas marginales. Ver apartado 4.6.2.3) ⁽⁷⁴⁾.

Por tanto, los valores característicos o nominales de la curva del comportamiento de la defensa en el dominio admisible asociados a un determinado buque y situación de carga del mismo en la condición de trabajo considerada se obtendrán a partir de las curvas normalizadas, asignando a cada valor del eje de abscisas (variable deformación de la defensa) en el dominio admisible un valor de la fuerza de impacto (y de la energía absorbida por la defensa), definido por medio de la formulación siguiente (Ver figura 4.6.4.18):

$$Q_{v,42[T]}_{\text{curva característica}} = Q_{v,42[T]}_{\text{curva normalizada}} \cdot \gamma_{\text{velocidad}} \cdot \gamma_{\text{temperatura}} \cdot \gamma_{\text{compresión no uniforme}} \cdot \gamma_{\text{ciclo compresión}}$$

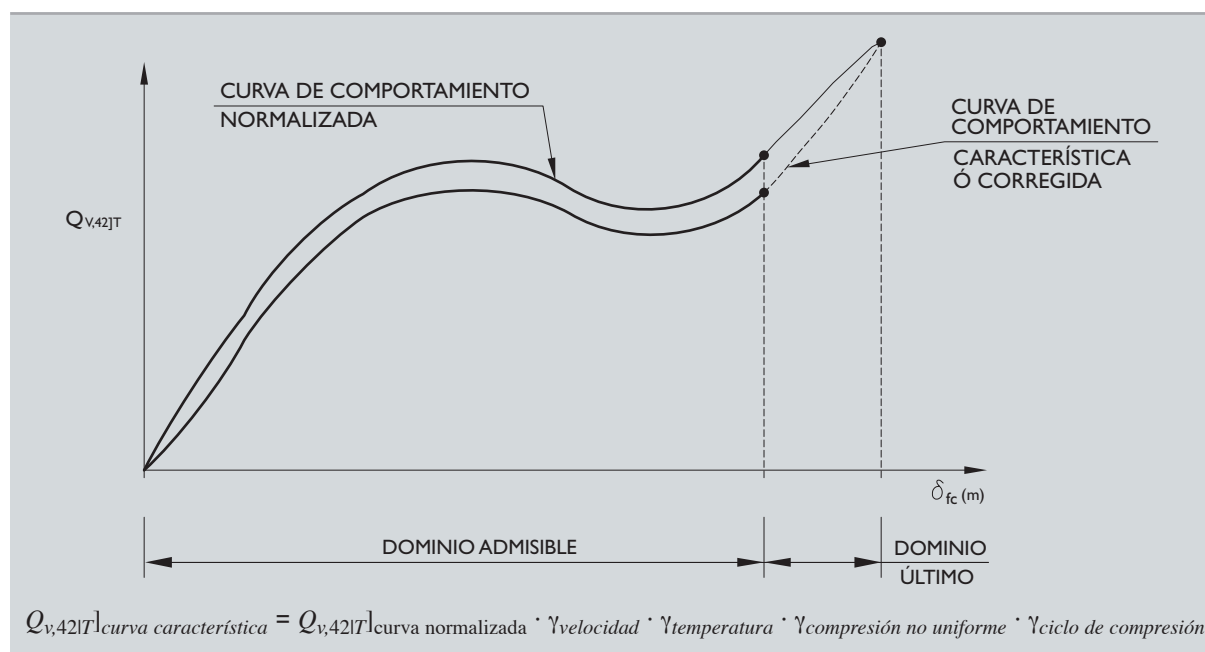
Siendo:

- $Q_{v,42[T]}_{\text{curva normalizada}}$: Es la fuerza de impacto obtenida a partir de la curva de comportamiento normalizada de la defensa.
- $\gamma_{\text{velocidad}}$: Factor de corrección por velocidad de aproximación. Se adoptará el correspondiente al valor representativo adoptado para la velocidad de aproximación del buque asociado al valor representativo de la energía de atraque en la condición de trabajo considerada (Ver apartado 4.6.4.3.1.2).
- $\gamma_{\text{temperatura}}$: Factor de corrección por temperatura. Se adoptará para condiciones normales operativas correspondiente a la realización de las maniobras de atraque el correspondiente a la temperatura mínima en el emplazamiento asociada a un cuantil de la probabilidad anual de no excedencia del 5% en la función de distribución de la temperatura mínima del aire a la sombra en el emplazamiento. Para condiciones extremas se adoptará el correspondiente a un periodo de retorno de 5 años en el régimen extremal de temperaturas mínimas.

(74) En el caso de que se desee considerar de forma más precisa la variabilidad de las propiedades de las defensas debida a la temperatura en formulaciones probabilistas, podrá considerarse para condiciones normales operativas correspondientes a la realización de las maniobras de atraque que éstas pueden definirse considerando que su modelo de probabilidad puede obtenerse como derivado del correspondiente a las temperaturas mínimas anuales en el emplazamiento por medio de los coeficientes correctores que tienen en cuenta este efecto suministrados por el fabricante de la defensa. En el caso de que deban considerarse condiciones extremas y excepcionales debidas a la presentación de un agente climático extraordinario se utilizarán a estos efectos los regímenes extremas de temperatura mínima.

$\gamma_{\text{compresión no uniforme}}$: Factor de corrección por compresión no uniforme de la defensa. Se adoptará el correspondiente al ángulo compuesto resultante de todas las causas que dan lugar a la compresión no uniforme de la defensa, tomando en consideración los valores representativos de los parámetros geométricos del buque (incluyendo, en su caso, la existencia y dimensiones de cintones), de la posición del punto de impacto con respecto al buque y al sistema de defensa (posibilidad de impacto excéntrico) y del ángulo de aproximación del buque al atraque asociados al valor representativo adoptado para la energía de atraque en la condición de trabajo considerada (Ver apartado 4.6.4.3.1.2), así como los valores representativos de compatibilidad de los niveles superior e inferior de las aguas exteriores en la situación considerada.

Figura 4.6.4.18. Determinación de los valores característicos o nominales de la curva de comportamiento de una defensa a partir de la curva normalizada



En el caso de que el nivel de las aguas exteriores de lugar a diferentes factores de compresión no uniforme, para formulaciones deterministas o determinista-probabilistas se considerarán los asociados con los valores representativos del nivel superior e inferior de las aguas exteriores asociados al valor representativo de la energía cinética adoptada en la condición de trabajo considerada. Para formulaciones probabilistas, en los casos en que la variación de este factor sea significativa, de una forma más precisa la función de distribución del mismo podrá considerarse como una función derivada de las funciones de distribución de los niveles superiores e inferiores de las aguas exteriores en la condición de trabajo.

En el caso que la compresión no uniforme sea debida únicamente a la forma del casco del buque en el punto de contacto y al ángulo de aproximación del mismo al atraque (α), el ángulo de compresión angular compuesto ($\alpha_{\text{compresión no uniforme}}$) puede determinarse mediante la formulación siguiente (Ver figura 4.6.4.19):

- ◆ Punto de impacto en tramo recto (PBL) de casco del buque (p.e. atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante a obras de atraque fijas discontinuas):

$$\alpha_{\text{compresión no uniforme}} = \alpha$$

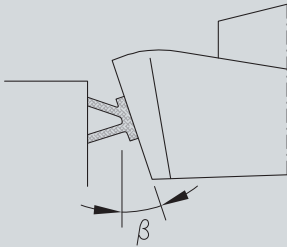
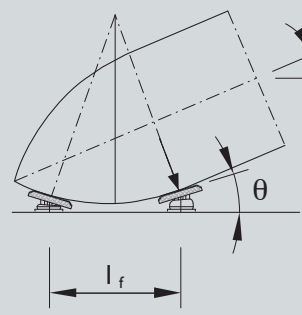
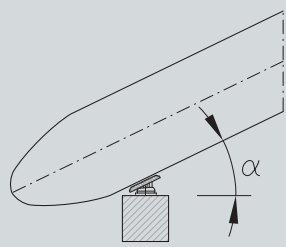
- ◆ Punto de impacto situado en el tramo curvo del casco del buque (p.e. en atraque lateral o de costado mediante traslación transversal preponderante a obras de atraque fijas continuas):

$$\alpha_{\text{compresión no uniforme}} = \frac{1}{\cos(1 + \tan^2 \theta + \tan^2 \beta)^{-0,5}}$$

Siendo:

- θ : ángulo horizontal de compresión de la defensa. Puede determinarse mediante la expresión $\theta = \arcsen(l_f/2 \cdot R_b)$, siendo:
 l_f : distancia entre defensas.
 R_b : radio de curvatura del buque en planta, en el área en la que se produce el impacto ⁽⁷⁵⁾.
- β : ángulo vertical de compresión de la defensa. Puede adoptarse para este ángulo el que forma con la vertical el casco del buque o el ocasionado, en su caso, por la existencia de cintones, en el área en que se produce el impacto (Ver Nota 23).

Figura 4.6.4.19. Factores que inciden en la compresión no uniforme de la defensa dependientes de la forma del casco del buque en el punto de impacto

PUNTO DE IMPACTO SITUADO EN EL TRAMO CURVO DEL CASCO	PUNTO DE IMPACTO SITUADO EN EL TRAMO RECTO DEL BUQUE
 <p>ÁNGULO VERTICAL DE COMPRESIÓN</p>  <p>ÁNGULO HORIZONTAL DE COMPRESIÓN</p>	 <p>ÁNGULO HORIZONTAL DE COMPRESIÓN</p>

$\gamma_{\text{ciclo de compresión}}$

: Factor de corrección por número de ciclo de compresión. Este factor es particularmente relevante cuando la defensa es del tipo rellena de espuma. A falta de otros datos se considerará que la defensa se someterá a un número de ciclos de compresión superior a 3 previamente a su entrada en servicio, ya que considerar un menor número de ciclos para el dimensionamiento puede dar lugar, con ciertos tipos de defensas, a aumentos importantes de las fuerzas de impacto (entre 1,3 y 1,6 veces). En estos casos se recomienda que se adopte un factor de ciclo de compresión igual a 1 del lado de la seguridad. Se

(75) Los radios de curvatura de los cascos de los buques en planta en los puntos de impacto, correspondientes a la flota de buques esperable en el atraque, serán definidos por el Promotor como un parámetro geométrico más asociado a los mismos. A falta de otros datos, el radio de curvatura del casco en planta en la zona de proa puede estimarse a través de la formulación siguiente: $R_b \approx \frac{1}{2}[(B/2) + L^2/8B]$, con R_b , B y L en m, siendo L la eslora total del buque y B su manga.

podrán considerar reducciones de la fuerza de impacto en función del número de ciclos de compresión cuando quede garantizado que la energía cinética considerada se presenta en el atraque después de haberse producido el correspondiente número de ciclos (p.e. readaptación del sistema de atraque existente a un buque de mayor desplazamiento), siempre y cuando no se hayan superado el número máximo de ciclos de validez de la curva de comportamiento normalizada establecidos por el fabricante.

Los valores característicos o nominales de la curva de comportamiento de la defensa en el dominio último se obtendrán simplificada de forma “manual”, prolongando la curva de comportamiento corregida desde el valor correspondiente al desplazamiento maximal hasta hacerla coincidir con la curva de comportamiento normalizada cuando se alcanza la deformación última (Ver figura 4.6.4.18).

Con el objeto de tomar en consideración las tolerancias admisibles, el valor de la fuerza de impacto obtenido por medio de las curvas de comportamiento corregidas correspondiente a cada nivel energético se multiplicará por un factor $(1 + t_f)$, siendo t_f la máxima tolerancia admisible en la fuerza de impacto en tanto por uno suministrada por el fabricante de la defensa. A falta de datos se adoptará 0,1.

a₁₂) En sistemas de defensa múltiples

a₁₂₁) *Sistemas de defensa formados por unidades en serie*

En el caso de sistemas de defensa formados por varias unidades en serie, la curva de comportamiento del conjunto podrá obtenerse considerando que la máxima deformación de cada una de las unidades de defensa tiene lugar al mismo tiempo. Por dicha razón, la curva de comportamiento característica del conjunto se obtendrá asignando a cada fuerza de impacto la suma de las deformaciones correspondientes a cada una de las unidades asociadas a dicha fuerza de impacto, obtenidas por medio de su propia curva individual de comportamiento característica. El dominio admisible del sistema múltiple se definirá por la suma de las deformaciones horizontales obtenidas a partir de la menor fuerza de impacto asociada al desplazamiento máximo de entre las correspondientes a las unidades consideradas individualmente (Ver figura 4.6.4.20.A).

La utilización de sistemas de defensas múltiples formados por unidades en serie con curvas de comportamiento de características muy diferentes puede ser una solución a tomar en consideración en algunos casos en los que un único tipo de defensa no pueda responder por si mismo a todos y cada uno los requisitos exigidos al sistema de atraque para todos los buques y situaciones de carga de los mismos pertenecientes a la flota esperable en el atraque (Ver apartado b), permitiendo de esa forma aprovechar los aspectos favorables y reducir los desfavorables que cada uno de los tipos de defensa presentan individualmente. En general, con estos sistemas de defensa se pueden obtener mayores capacidades de absorción de energía con menores cargas de impacto.

a₁₂₂) *Sistemas de defensa formados por unidades en paralelo*

En el caso de defensas formadas por varias unidades en paralelo, posicionadas bien paralelamente a la línea de atraque o bien verticalmente, solidarizadas mediante paneles o escudos frontales, la curva de comportamiento característica del conjunto para compresión uniforme se obtendrá asociando a cada deformación la suma de las reacciones que se producen en cada una de las unidades para dicha deformación, obtenidas por medio de sus propias curvas individuales de comportamiento características (Ver figura 4.6.4.20.B). En estos casos, en general se utilizan defensas de igual tipo y características, por lo que la curva

de comportamiento del conjunto se obtendrá asignando a cada deformación horizontal la reacción correspondiente a la misma en una defensa multiplicada por el número de unidades que la forman. Por tanto, el dominio admisible de este sistema múltiple quedará definido por el desplazamiento maximal de las unidades consideradas individualmente.

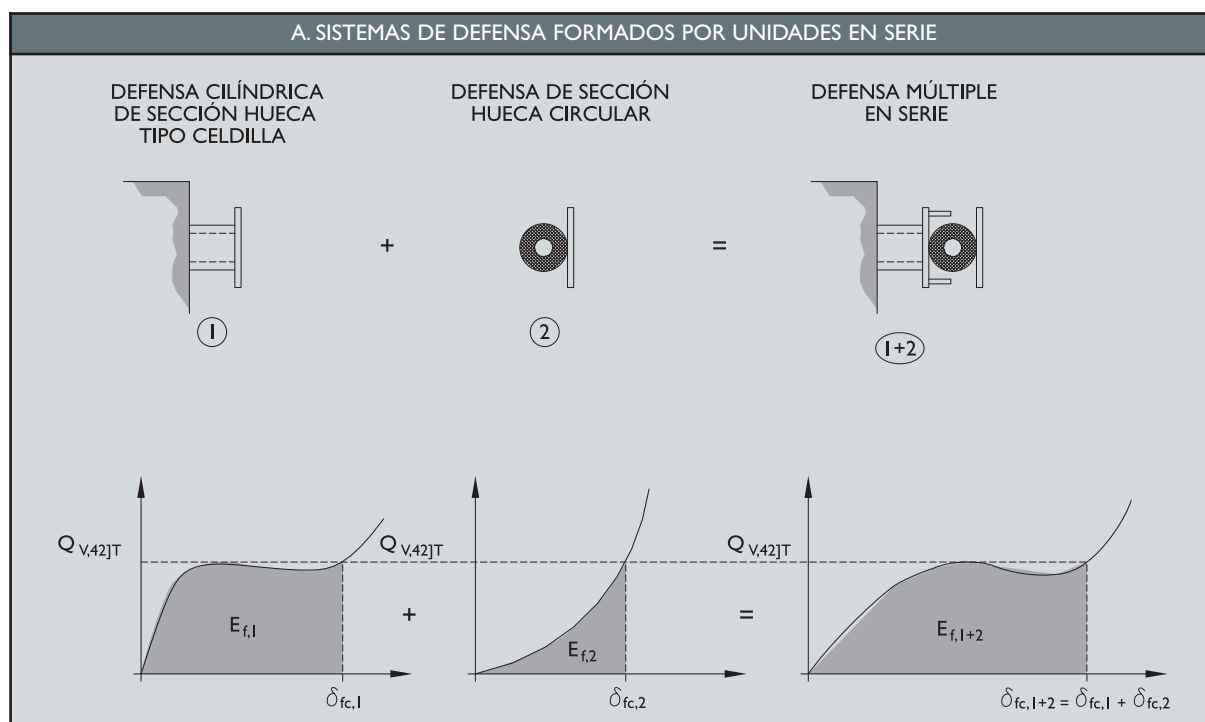
Si la compresión del sistema de defensas no es uniforme, bien horizontalmente y/o bien verticalmente, la curva de comportamiento característica se definirá como la relación entre la fuerza de impacto global y la deformación horizontal medida en el centro del sistema de defensas. Para su obtención, la fuerza correspondiente a cada deformación horizontal medida en el centro del sistema de defensas se obtendrá de forma equivalente, sumando las reacciones que se producen en cada unidad obtenidas de su curva característica, considerando la deformación horizontal que se produce en cada una de ellas compatible con la deformación horizontal medida en el centro del sistema de defensas para la compresión no uniforme considerada. (Ver figura 4.6.4.20.C).

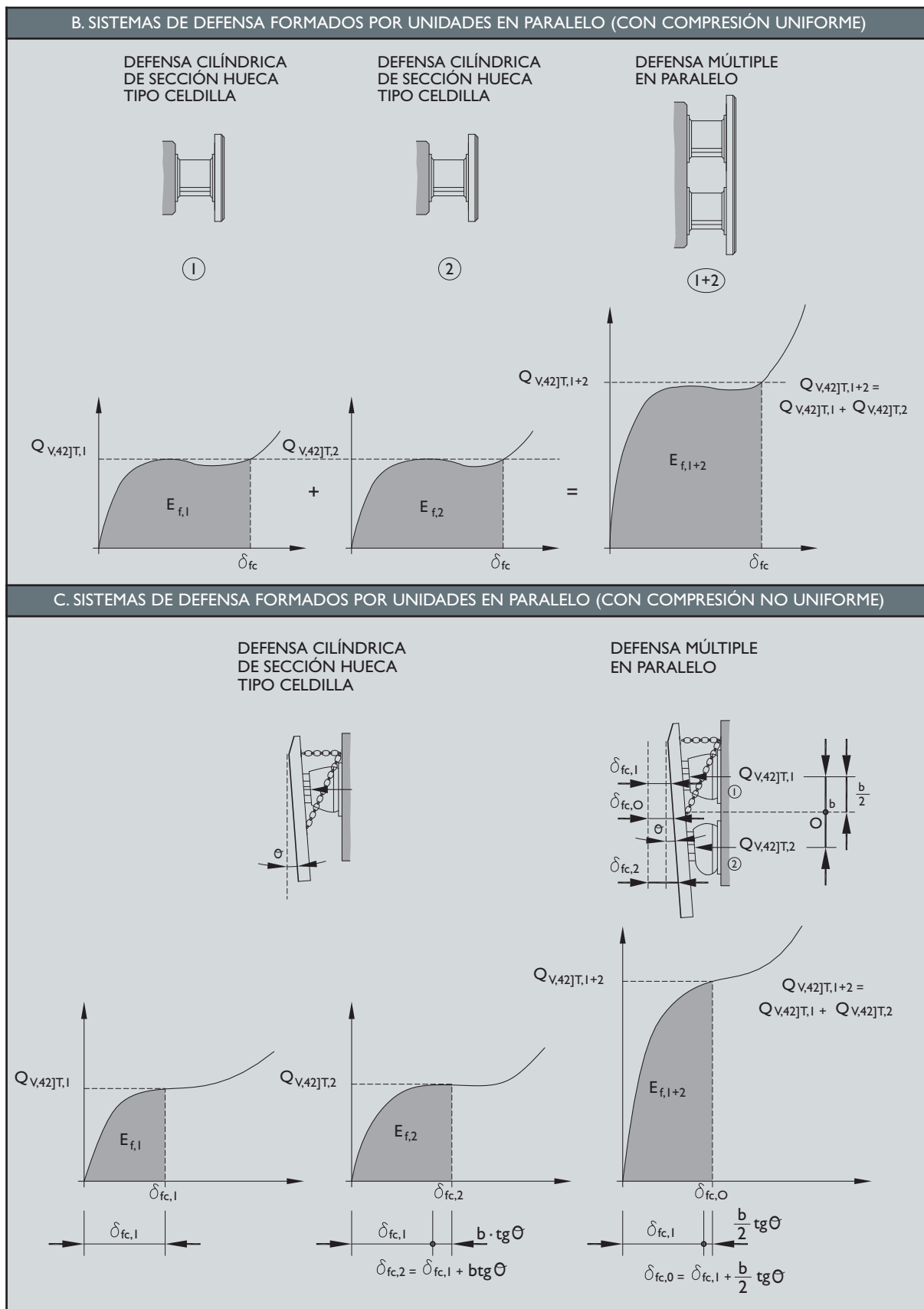
Este tipo de sistemas múltiples suelen ser una buena solución cuando se necesita aumentar la capacidad de absorción de energía de un tipo de defensas con niveles de deformación reducidos o cuando se necesita poner grandes escudos para dar cumplimiento a los requisitos exigidos al sistema de atraque para todos los buques esperables en el atraque en todas las condiciones climáticas adoptadas como operativas (presiones sobre el casco, desniveles de marea, ... Ver apartado b).

a₁₃) En sistemas de defensas continuas

En el caso de defensas continuas, generalmente las curvas de comportamiento se definen por metro lineal de defensa. Para obtener la capacidad total de absorción de energía y la fuerza de impacto asociada a cada deformación se considerará la longitud de contacto buque/defensa. Para la definición de longitudes de contacto, ver el epígrafe b de este apartado.

Figura 4.6.4.20. Curvas de comportamiento de sistemas de defensa múltiples



Curvas de comportamiento de sistemas de defensa múltiples (continuación)

a₁₄) Tipos de curvas de comportamiento de las defensas

Están disponibles comercialmente defensas, tanto fijas como flotantes, con diferentes tipos de curvas de comportamiento. Con carácter general, en función de la forma de su curva de comportamiento se pueden distinguir los siguientes tipos:

- Defensas elastoméricas: Son defensas constituidas por piezas de caucho o goma de formas diferentes. En general son fijas, disponiéndose ancladas, apoyadas o colgadas de la estructura resistente. Absorben la energía de atraque mediante su deformación a compresión, cortante o incluso a flexión. Las defensas elastoméricas se subdividen en:
 - *Defensas solicitadas a compresión lateral y flexión* (neumáticos y defensas de sección hueca circular, trapezoidal, cuadrada o en “D”). Este tipo de defensas tiene curvas de comportamiento exponencial con rendimientos decrecientes con las deformaciones y generalmente no absorben grandes cantidades de energía en dicho dominio ($< 1000 \text{ kNm}$). Su capacidad de absorción de energía exige deformaciones importantes de la defensa (Curvas 1, 2 y 3 de la figura 4.6.4.21)
 - *Defensas solicitadas a compresión axial* (defensas cilíndricas o troncocónicas de sección hueca tipo celdilla ⁽⁷⁶⁾, defensas arco y defensas modulares). Este tipo de defensas tiene una curva de comportamiento lineal hasta que se inicia el pandeo lateral de la defensa para, a partir de ese punto, mantener básicamente una misma fuerza de impacto asociada a cada deformación en el dominio admisible. El rendimiento de este tipo de defensa varía sustancialmente a lo largo del dominio admisible. Para pequeñas deformaciones (en la zona que la curva de comportamiento es lineal), la defensa se comporta como rígida, dando lugar a grandes fuerzas de impacto y desarrollando escasa capacidad de absorción energética. Por el contrario para deformaciones más elevadas hasta el desplazamiento maximal, la defensa tiene un alto rendimiento, con mayor capacidad de absorción de energía sin aumentar la fuerza de impacto y sin exigir grandes deformaciones. Este tipo de defensas puede absorber importantes cantidades de energía en el dominio admisible (algunos modelos hasta 7.000 kNm), aunque son muy susceptibles a reducciones significativas de esa capacidad cuando están sometidas a compresiones no uniformes (Curvas 4, 5 y 6 de la figura 4.6.4.21.)
 - *Defensas solicitadas a cortante*. Este tipo de defensas tiene una curva de comportamiento esencialmente lineal. Generalmente absorben muy pequeñas cantidades de energía ($< 30 \text{ kNm}$) en el dominio admisible (Curva 7 de la figura 4.6.4.21.)
- Defensas neumáticas, hidroneumáticas y rellenas de espuma: Son defensas constituidas por recintos de caucho de formas diferentes, rellenos con aire a presión, con agua más aire a presión o con espuma. En general este tipo de defensas se colocan flotantes o colgadas de la estructura resistente, aunque también algunas tipologías admiten su colocación fijas (p.e. bloques neumáticos y ruedas solicitadas diametralmente). Absorben la energía de atraque mediante la compresión del volumen confinado de aire o de espuma que contienen en su interior. Este tipo de defensas se subdividen en:
 - *Defensas neumáticas*. Este tipo de defensas tiene generalmente formas cilíndricas con los extremos abovedados y comprimidos axialmente, rellenas en su interior con aire a presión inicial ajustable según las necesidades de absorción energética. Presiones iniciales del orden de $5-7 \text{ N/cm}^2$ son comunes. Se disponen normalmente flotantes, con el eje de simetría situado horizontal y sujetas a la estructura resistente mediante cadenas que parten de sus extremos, aunque también pueden disponerse como fijas. Los

(76) En España estas defensas se suelen denominar de tipo carrete.

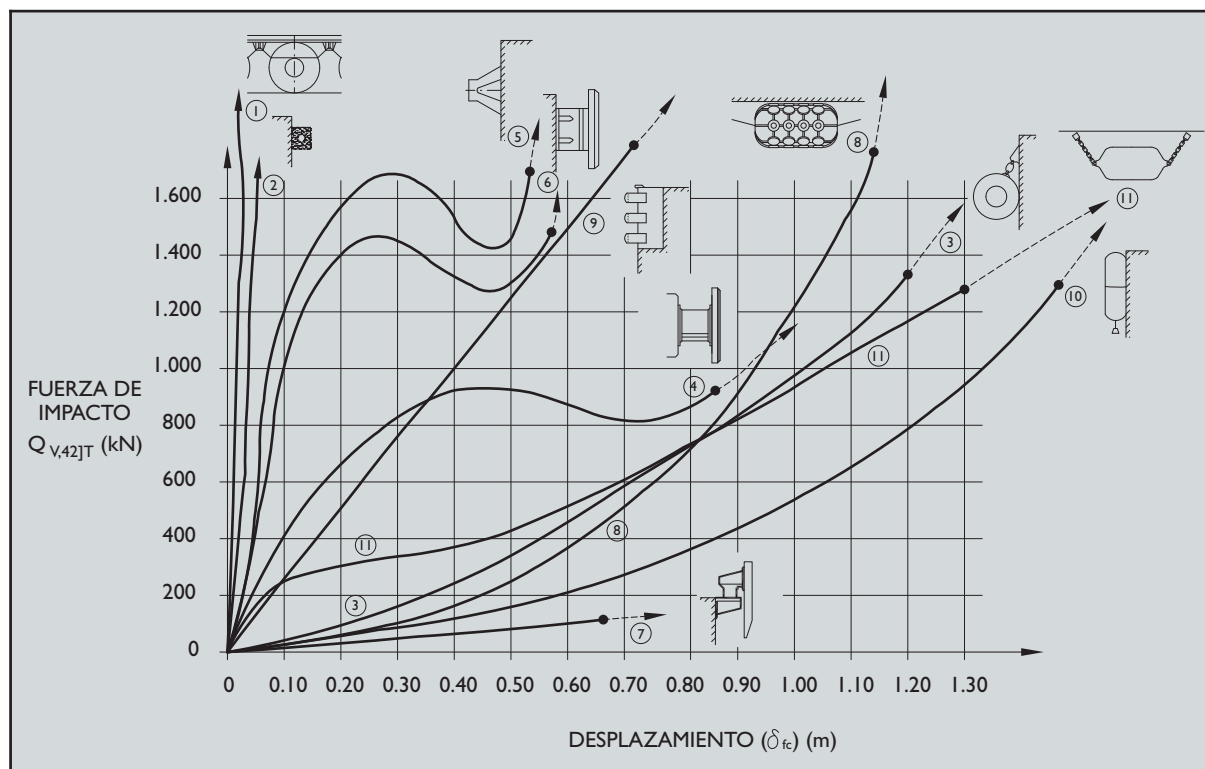
buques las solicitan lateralmente. También están disponibles en el mercado defensas neumáticas específicamente diseñadas para colocarse como fijas, formadas en este caso por bloques de formas paralelepípedicas o cilíndricas cortas solicitadas axialmente, con mayores presiones iniciales de aire (10 N/cm^2). Las curvas de comportamiento de las defensas neumáticas tienen una forma exponencial acusada, con rendimientos decrecientes con las deformaciones, pudiendo alcanzar, las mayores actualmente disponibles en el mercado, grandes capacidades de absorción de energía en dicho dominio ($> 9.000 \text{ kNm}$) aunque necesitando grandes deformaciones para ello (Curva 8 de la figura 4.6.4.21).

- *Defensas giratorias (Ruedas)*. Este tipo de defensas está formado por ruedas de gran diámetro (1-3 m) hinchadas con presiones del orden de $40\text{-}60 \text{ N/cm}^2$, colocadas con el eje de giro vertical u horizontal y, por tanto, con capacidad de rotación alrededor del mismo. Las curvas de comportamiento de este tipo de defensas son prácticamente lineales en el dominio admisible, con rendimientos intermedios, aumentando con el diámetro de las ruedas. Las actualmente disponibles en el mercado no absorben grandes cantidades de energía en dicho dominio ($< 1000 \text{ kNm}$). Su capacidad de absorción de energía en el dominio admisible está asociada a deformaciones importantes de la defensa (Curva 9 de la figura 4.6.4.21).
- *Defensas hidroneumáticas*. Este tipo de defensas son similares a las defensas neumáticas cilíndricas, pero parcialmente rellenas con agua (entre 50-65%) y con su eje de simetría en posición vertical. Se disponen flotantes, con un muerto exterior, teniendo el agua y el muerto la función de balasto con el objeto de ajustar el grado de inmersión de la defensa a las características del casco del buque. Son particularmente necesarias cuando la parte sumergida del casco del buque es convexa (p.e. en los submarinos). Las curvas de comportamiento de este tipo de defensa son exponenciales, con rendimientos y capacidad de absorción de energía en el dominio admisible menores que las de tipo neumático de iguales dimensiones, decreciendo con la cantidad de agua de balasto incorporada. La capacidad de absorción de energía de las mayores disponibles en el mercado no suele sobrepasar de 3.500 kNm (Curva 10 de la figura 4.6.4.21).
- *Defensas rellenas de espuma*. Este tipo de defensas tiene formas y disposiciones similares a las defensas neumáticas cilíndricas, si bien su interior está relleno de celdas cerradas de espuma de polietileno. Este tipo de defensas admite su colocación tanto de forma fija como colgada de la estructura resistente o flotante. También hay disponibles en el mercado algunas con formas tóricas, especialmente diseñadas para su utilización como sistema de defensa en duques de alba monopilotos. Las curvas de comportamiento de las defensas rellenas de espuma son ligeramente exponenciales, muy próximas a una recta, y con rendimientos muy elevados y prácticamente uniformes a lo largo de todo el dominio admisible. Tienen, por tanto, una gran capacidad de absorción de energía con relativamente menores fuerzas de impacto que otros tipos de defensa con cualquier deformación en el dominio admisible. A igualdad de energía absorbida, las deformaciones absolutas de la defensa son menores que las correspondientes a una defensa neumática de dimensiones similares. La capacidad de absorción de energía de las mayores disponibles actualmente en el mercado pueden sobrepasar 11.000 kNm . (Curva 11 de la figura 4.6.4.21).

a₂) Curvas de comportamiento de las estructuras

Las curvas de comportamiento de las estructuras se definirán para cada punto de aplicación de la fuerza de impacto en función de las características tipológicas, geométricas, resistentes y de deformabilidad tanto de la estructura y, en su caso, de los sistemas de anclaje, como del terreno de cimentación y de los rellenos que formen parte de la obra de atraque, tomando en consideración el comportamiento conjunto, resultante de la interacción suelo-estructura, bajo la actuación de acciones horizontales.

Figura 4.6.4.21. Curvas de comportamiento asociadas a cada tipo de defensas, para similar capacidad de absorción de energía en el dominio admisible ($E_{f,max} \cong 650 \text{ kNm}$ *)



Notas

*) La curva de comportamiento de la defensa solicitada a cortante (7) está asociada con una capacidad de absorción de energía en el dominio admisible de 30 kNm y no de 650 kNm, al no existir en el mercado defensas de este tipo con tan alta capacidad de absorción de energía.

Leyenda

DEFENSAS SOLICITADAS A COMPRESIÓN LATERAL Y FLEXIÓN

- 1) Defensa de neumáticos.
- 2) Defensa de sección hueca cuadrada.
- 3) Defensa de sección hueca circular.

DEFENSAS SOLICITADAS A COMPRESIÓN AXIAL

- 4) Defensa cilíndrica de sección hueca.
- 5) Defensa arco.
- 6) Defensa modular
- 7) Defensa solicitada a cortante.
- 8) Defensa neumática.
- 9) Defensa giratoria (Ruedas).
- 10) Defensa Hidroneumática.
- 11) Defensa Rellena de Espuma.

Para la determinación de las curvas de comportamiento de estructuras lineales se considerará que la zona de la estructura que debe adoptarse a los efectos de definir la relación entre la fuerza de impacto y la deformación horizontal de la estructura en el punto de aplicación de dicha fuerza es la comprendida entre juntas estructurales o, en su caso, entre el extremo de la estructura y la junta más próxima. No obstante, en aquellas estructuras lineales que puedan considerarse a estos efectos como indefinidas (extremos de la estructura o juntas estructurales suficientemente alejados del punto de aplicación de la fuerza de impacto) podrá adoptarse que la longitud de estructura a considerar es igual a:

$$l_c + 2b$$