SARMIENTO
ACADEMIA

MATERIAL DE CAPACITACIÓN · AS-C-004 · VERSIÓN 01

Defensas marinas y atraque seguro

Energía, reacción y presión de casco: qué protege una defensa y qué no puede compensar

Módulo de tres charlas · Curso de ingeniería de puertos

Academia Sarmiento · E. Sarmiento Consultores S.A.C.

Objetivo y alcance

Para qué sirve

Que el participante entienda la defensa como la interfaz que disipa energía entre el buque y la estructura, sepa leer sus parámetros de diseño y aplique criterios de operación e inspección que la mantengan dentro de su condición de diseño.

A quién va dirigido

Ingeniería y operaciones portuarias, supervisores de atraque, mantenimiento de infraestructura marítima, inspectores y participantes del curso de ingeniería de puertos.

Tres charlas, tres preguntas distintas

1. **Física** ¿Qué hace exactamente una defensa y con qué parámetros se describe?
2. **Ingeniería** ¿Cómo se elige y se dimensiona, y con qué marco normativo?
3. **Operación** ¿Qué se controla en el atraque y cómo se verifica que el sistema sigue en condiciones?

Todo lo que aparta la operación real de los supuestos de diseño reduce el margen sin que nadie lo advierta: el sistema sigue pareciendo el mismo desde el muelle.

Formato

≈ 2 horas

3 charlas de 40 a 45 minutos, más actividades prácticas.

Preferentemente con acceso a un sistema de defensas instalado

Evaluación final de 12 preguntas; aprobación 85 %.

La defensa no impide el impacto: lo administra

El buque llega con energía cinética residual, y esa energía tiene que ir a alguna parte: absorberse o transmitirse.

Contra un tope rígido

El buque se detiene igual, pero el frenado ocurre en pocos milímetros: fuerza enorme sobre una superficie pequeña y daño en el casco, en la viga de atraque o en ambos.

Contra una defensa

La defensa se deforma de forma controlada y alarga la distancia de frenado a varios centenares de milímetros. La misma energía produce una fuerza máxima mucho menor.

Los dos números que definen una defensa

Energía absorbida
kN·m

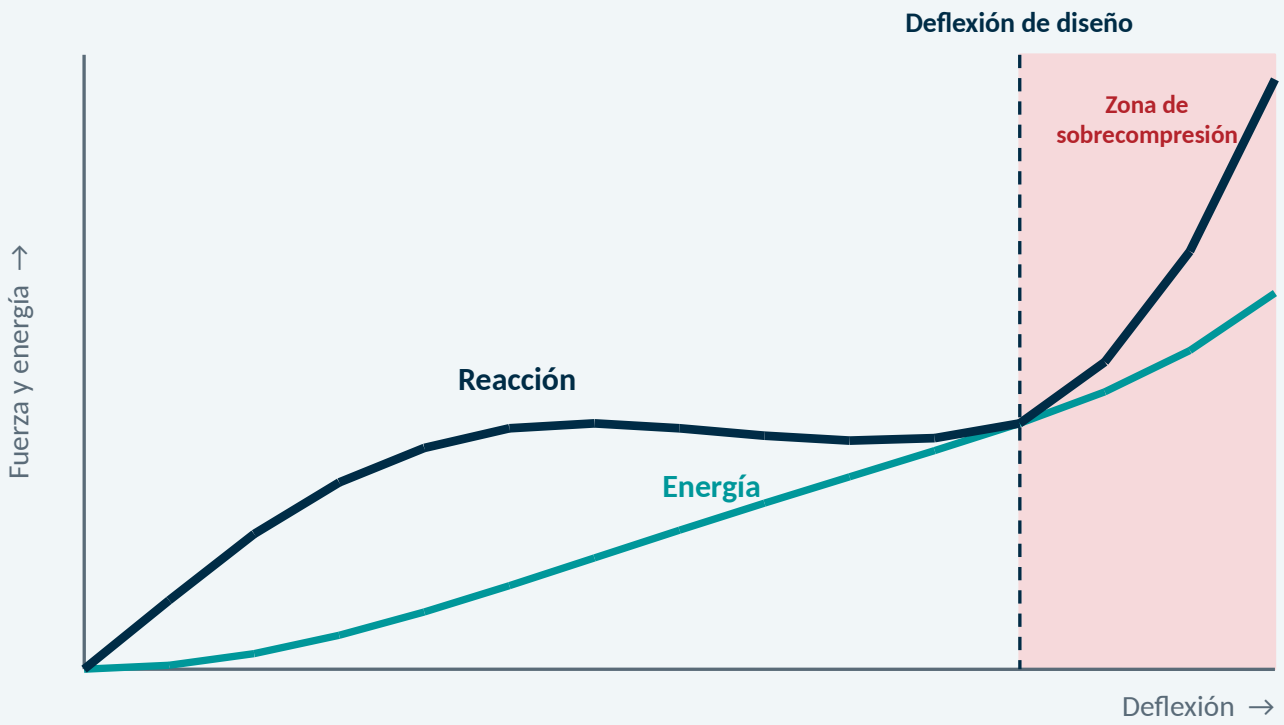
Lo que la defensa almacena y disipa. Debe igualar o superar la energía que trae el buque.

Fuerza de reacción
kN

Lo que la defensa devuelve a la estructura y al casco. Dimensiona la viga, los pilotes y puede dañar el buque.

Se leen siempre juntas: una defensa que absorbe más energía suele generar más reacción. Diseñar es absorber lo necesario con la menor reacción posible.

Una defensa no tiene un valor: tiene una curva



Curva ilustrativa de una defensa de compresión, no de un producto concreto. La energía es el área bajo la curva de fuerza.

Lo que hay que leer

Cuánta energía absorbe a la deflexión de diseño, qué reacción genera en ese punto y qué pasa si se sobrepasa.

Pasada la deflexión de diseño

Pequeños aumentos de compresión producen aumentos muy grandes de reacción. La defensa deja de amortiguar y se comporta cada vez más como un tope rígido.

Comparar defensas solo por la energía declarada, sin mirar la reacción ni el panel, es el error de evaluación más frecuente.

El casco no soporta fuerza: soporta presión

Presión de casco = reacción ÷ área de contacto

El panel frontal reparte

Con la misma unidad de goma, un sistema puede ser aceptable o no para un buque según el panel que lleve. Por eso el panel forma parte del criterio de aceptación.

Depende del buque

Cascos de plancha delgada o con mayor separación entre cuadernas —algunos graneleros, portacontenedores modernos— admiten presiones menores que un casco reforzado.

Por validar con la referencia aplicable

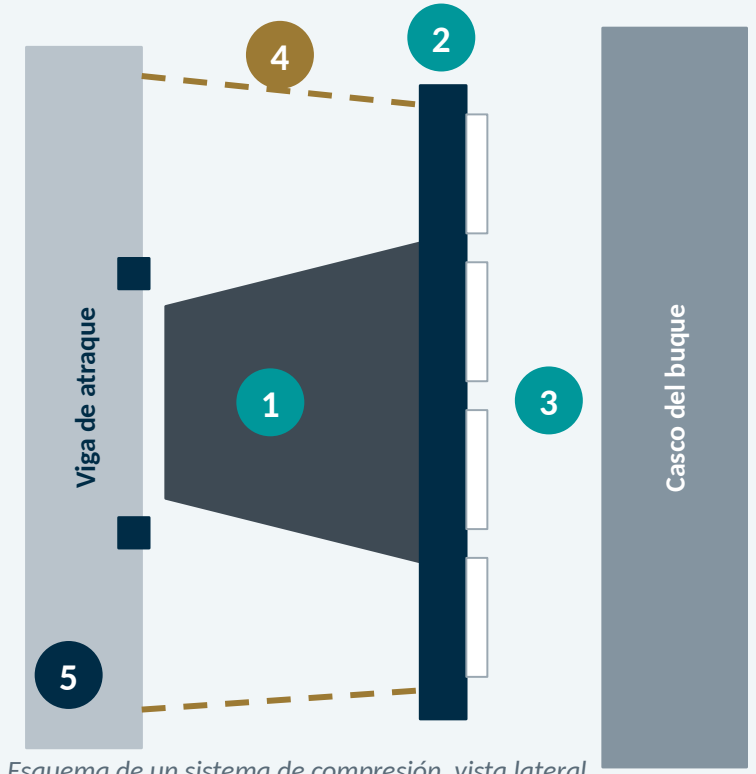
La presión admisible se obtiene de la referencia aplicable o del armador para cada buque. No se supone ni se fija de forma genérica.

Dos verificaciones distintas, y las dos tienen que pasar

Energía absorbida ≥ energía de atraque → **Presión sobre el casco ≤ admisible** → **Sistema aceptable**

LO QUE UNA DEFENSA NO HACE No detiene el buque (eso lo hacen máquinas, remolcadores y amarras) · no compensa una velocidad excesiva · no es inalterable: envejece.

La defensa es un sistema, no una pieza



Esquema de un sistema de compresión, vista lateral

1. **Unidad de absorción**
   El caucho (o la cámara de aire en las neumáticas): es la que hace el trabajo.

2. **Panel frontal**
   Estructura de acero que reparte la reacción y reduce la presión sobre el casco.

3. **Placas de baja fricción (UHMW-PE)**
   Cara de contacto del panel: reducen rozamiento y desgaste. No absorben energía.

4. **Cadenas**
   De peso, que sostienen el panel; de cortante, que limitan su desplazamiento; de tensión.

5. **Anclajes y tornillería**
   Pernos al hormigón, grilletes y herrajes de conexión.

Quien cree que la placa es «la defensa» trata su desgaste como algo estético. Agotada, deja el acero del panel en contacto con el casco.

Cada familia responde a una condición de servicio

Familia	Cómo trabaja	Dónde encaja mejor
Cilíndricas	El cilindro de goma se aplasta contra la estructura; absorción moderada, comportamiento sencillo.	Muelles multipropósito y de carga general; soluciones económicas y robustas.
Cónicas y de celda	Alta absorción con reacción contenida y buen comportamiento en atraque angular.	Terminales de contenedores y graneles; buques de gran desplazamiento.
De arco y de elemento	Perfil de arco o elemento recto en línea; absorción media con bajo perfil.	Muelles continuos, poco espacio disponible y buques menores.
Neumáticas flotantes	Comprimen aire en una cámara de caucho; el rendimiento depende de la presión inicial.	Buque a buque, fondeaderos, gran rango de marea y atraques temporales.
De espuma de célula cerrada	Núcleo de espuma recubierto; no dependen del aire y flotan aunque se perfore el revestimiento.	Ubicaciones remotas, uso militar y donde un pinchazo dejaría el sistema fuera de servicio.
De escudo o rodillo	Guían al buque durante la aproximación más que absorber energía frontal.	Bocas de esclusa, entradas de dique y puntos que requieren guiado.

La elección depende de la geometría del muelle, el rango de marea, el tipo de buque y la modalidad de operación, no del catálogo.

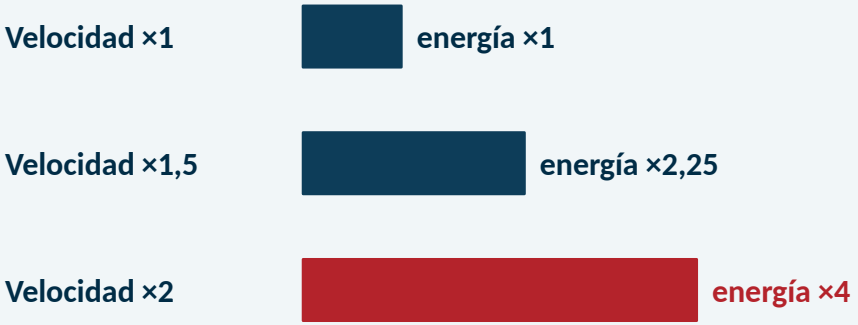
La selección empieza por la energía, no por el catálogo

ENERGÍA DE ATRAQUE: FORMA GENERAL

$$E = \tfrac{1}{2} \cdot M \cdot V^2 \cdot Cm \cdot Ce \cdot Cs \cdot Cc$$

M desplazamiento del buque **V** velocidad perpendicular al muelle
Cm masa de agua arrastrada **Ce** excentricidad del contacto
Cs rigidez casco–defensa **Cc** configuración del muelle (abierto o continuo)

LA VELOCIDAD VA AL CUADRADO



Energía normal y energía anormal

La normal es la operación habitual. La anormal cubre el suceso excepcional — aproximación rápida, falla de máquina o remolcador, mal tiempo, error— y se obtiene aplicando un factor.

Para qué sirve el margen anormal

El sistema debe absorberla sin daño permanente ni cargar la estructura por encima de su diseño: así un atraque imperfecto no se convierte en una reparación.

La velocidad es la variable más influyente y la más incierta: duplicarla multiplica por cuatro la energía que hay que absorber.

Del catálogo al diseño: referencia y correcciones

El marco de referencia: PIANC

2002 · Informe WG33 → **2024 · Directrices WG211**

- El WG211 sustituye al WG33 y describe con más detalle el proceso de atraque.
- Recomienda datos específicos del emplazamiento en lugar de valores genéricos.
- Señala la velocidad de atraque como el factor más crítico del diseño.
- Con datos reales del sitio, el sistema puede resultar menor: el margen se ajusta a lo que ocurre en ese muelle.
- Proyecto anterior a 2024: verifique bajo qué versión se dimensionó.

El catálogo se corrige por tres variables

Temperatura

El frío rigidiza el caucho y el calor lo ablanda: rinde distinto en invierno y en verano.

Velocidad de compresión

El caucho es viscoelástico: un atraque rápido trae más energía y encuentra una defensa más rígida.

Ángulo

Comprimida en oblicuo no rinde lo mismo que de frente; la corrección depende de la geometría.

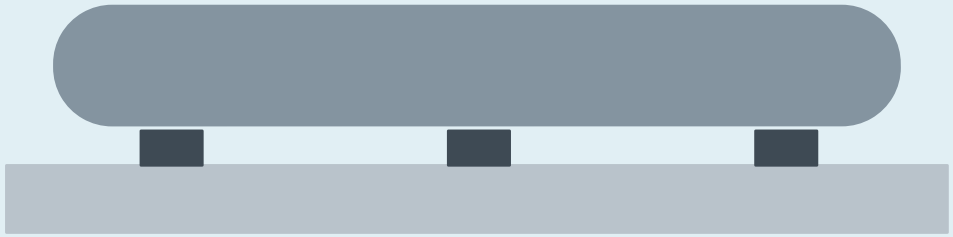
Por validar con la referencia aplicable

Coeficientes de la ecuación, factores de corrección y factor de energía anormal se toman del texto PIANC vigente y del fabricante del producto. El curso enseña el método, no los valores.

Pedir cotización solo con eslora y desplazamiento es elegir entre supuestos distintos: la ficha del Anexo A va completa o no se cotiza.

Ninguna defensa compensa un mal atraque

Aproximación paralela: el contacto se reparte entre varias unidades



Con ángulo: una sola unidad recibe la mayor parte de la energía



Velocidad: medirla, no estimarla

Un buque grande a velocidad peligrosa parece moverse despacio. Los sistemas de asistencia al atraque miden distancia y velocidad en tiempo real; sin ellos no queda registro.

El ángulo es de diseño

Esa unidad puede superar su deflexión aunque la energía total esté dentro de lo previsto. Donde el ángulo es difícil de controlar se especifican cónicas o de celda.

Contacto de proa o popa

Fuera de la banda paralela, el contacto cae sobre casco curvo, con menos área efectiva y sobre una unidad aislada.

Sin medición, cuando aparece un daño no hay manera de saber si el atraque estuvo dentro de parámetros.

Cómo falla cada elemento y qué se observa

Elemento	Modo de fallo	Qué se observa
Unidad de caucho	Sobrecompresión: se excedió la energía o la deflexión de diseño.	Deformación permanente, pérdida de altura, grietas profundas, desgarro en la base.
Unidad de caucho	Fatiga y envejecimiento por ciclos, ozono y sol.	Agrietamiento superficial extendido, endurecimiento, pérdida de rendimiento.
Unidad de caucho	Cortante excesivo por movimiento longitudinal del buque.	Grietas de cizalla orientadas; panel desplazado de su posición.
Panel frontal	Corrosión, deformación por impacto, falla de soldaduras.	Abolladuras, pérdida de planitud, óxido en soldaduras, agua dentro del panel.
Placas UHMW-PE	Desgaste, pérdida de espesor, rotura o desprendimiento.	Placas faltantes, tornillería expuesta, acero del panel contra el casco.
Cadenas y herrajes	Corrosión, elongación, desgaste en articulaciones, rotura.	Eslabones adelgazados, grilletes deformados, cadena floja o rota, panel descolgado.
Anclajes	Corrosión del perno, degradación del hormigón, pérdida de par.	Óxido en la base, fisuras en el hormigón, tuercas flojas o faltantes.
Neumáticas	Pérdida de presión, pinchazo, falla de válvula.	Presión bajo la nominal, deformación en reposo, pérdida de flotabilidad.

La sobrecompresión puede dañar la unidad, los anclajes o la estructura sin que se vea desde el muelle.

Un atraque anómalo no se cierra con una mirada

Ante un contacto anómalo

Registrar el evento → **Estimar la energía con los datos disponibles** → **Inspeccionar defensa, anclajes y estructura** → **Decidir y documentar si la posición sigue en servicio**

Tres niveles de inspección

Rutinaria visual

Personal del terminal. Busca lo evidente: defensa desplazada o descolgada, cadena rota o floja, placas faltantes, daño reciente. Vale por su frecuencia.

Periódica detallada

Elemento por elemento con el formato del Anexo B: espesor remanente de placas, cadenas y herrajes, par de anclajes, presión de neumáticas.

Extraordinaria por evento

Tras un atraque fuera de parámetros, un temporal, un contacto anómalo o un hallazgo que no puede evaluarse en el momento.

Por validar con la referencia aplicable

Frecuencias, criterios de aceptación y espesores mínimos de las placas se toman del manual del fabricante y del régimen de mantenimiento del terminal.

El registro es acumulativo

Una inspección dice cómo está hoy; una serie dice a qué velocidad se degrada.

Retiro de servicio e inspección sin riesgo

SE RETIRA DE SERVICIO LA POSICIÓN ANTE

- Panel descolgado o cadena rota.
- Pérdida de altura o deformación permanente de la unidad.
- Placas de baja fricción agotadas, con acero expuesto al casco.
- Anclajes flojos o con el hormigón fisurado.
- Defensa neumática con presión fuera de rango.

TRES REGLAS QUE NO SE NEGOCIAN

1. Nadie trabaja bajo un panel suspendido sin asegurarlo independientemente de las cadenas que se inspeccionan.
2. Nadie inspecciona en el borde del muelle sin protección contra caídas y, cuando corresponda, equipo de flotación.
3. No se inspecciona una posición con buque atracado o con maniobra en curso.

Los hallazgos se clasifican en tres grupos: sigue en servicio, sigue con seguimiento reforzado, o se retira. Cada clasificación se justifica por escrito.

CASO INTEGRADOR

Una posición dimensionada hace doce años

LA SITUACIÓN

- Terminal multipropósito. El sistema se dimensionó bajo la referencia PIANC de entonces, para un buque de diseño que hoy es superado con frecuencia.
- No se mide la velocidad de atraque.
- Inspección rutinaria: dos placas del panel central con espesor reducido, una cadena de cortante elongada y óxido en la base de dos pernos.
- La unidad de goma se ve en posición y sin daño aparente.
- Tres semanas antes, un contacto «algo fuerte» que nadie registró.

QUÉ DEBE VER EL PARTICIPANTE

1. Ni cerrar ni seguir igual: inspección extraordinaria completa, con restricción operativa mientras tanto (buque máximo, remolcadores o ambos).
2. La unidad «sin daño aparente» no se da por buena: el contacto pudo dañarla por dentro.
3. Un buque mayor trae más energía a la misma velocidad: el dimensionamiento original dejó de aplicar y hay que reevaluar.
4. La cadena de cortante elongada indica esfuerzos con componente tangencial, no solo compresión frontal.

Que el sistema no haya fallado no acredita que tenga margen: solo que los atraques estuvieron por debajo de su capacidad residual.

IDEAS FUERZA

Qué debe recordar el participante

1. La defensa no impide el impacto: alarga la distancia de frenado y reduce la fuerza transmitida.
2. Energía y reacción se leen juntas; pasada la deflexión de diseño, la defensa actúa como un tope rígido.
3. El casco soporta presión, no fuerza: energía y presión de casco son dos verificaciones distintas.
4. La defensa es un sistema: unidad, panel, placas UHMW-PE, cadenas y anclajes. Las placas no absorben energía.
5. La velocidad va al cuadrado: duplicarla cuadruplica la energía. El marco vigente es PIANC WG211 (2024).
6. El valor de catálogo se corrige por temperatura, velocidad de compresión y ángulo.
7. Un atraque angular carga una sola unidad; sin medición de velocidad no hay control ni registro.
8. Un atraque fuera de parámetros se registra e inspecciona a fondo: no se cierra con una mirada.

Documentos y referencias relacionados

PIANC WG211 (2024)

Directrices vigentes para el diseño de sistemas de defensa. Sustituyen al WG33 de 2002.

ISO 17357-1 y -2

Defensas neumáticas flotantes de alta y de baja presión.

Manual del fabricante

Criterios de aceptación, espesores mínimos y mantenimiento del sistema instalado.

Curso de ingeniería de puertos

Del que este documento es un módulo.

SIG-C-007 · SIG-C-010

Conocimientos básicos del puerto; rigging para montaje o reemplazo de paneles.

Por validar

Coeficientes, factores, presiones admisibles y frecuencias de inspección se toman del texto vigente y del producto, no de este material.

Módulo de nivel técnico introductorio: entrega el método, el vocabulario y los criterios de verificación; no habilita por sí solo para firmar el dimensionamiento de un sistema de defensas.

Control del documento

AS-C-004 v01 · Emisión 27/09/2026 · Material de capacitación de Academia Sarmiento, E. Sarmiento Consultores S.A.C. Elaborado por Academia Sarmiento, revisado por la Gerencia de Operaciones y aprobado por la Gerencia General. Verifique que esta sea la versión vigente antes de su uso.