

GUÍA DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y CONSERVACIÓN DE OBRAS MARÍTIMAS Y COSTERAS

Volumen 2: Diseño (Parte II)

Desarrollado por:



Empresa Consultora



ÍNDICE CAPÍTULO 3 VOLUMEN 2

3.	ESTADOS DE CARGA Y COMBINACIONES	1
3.1	SIMBOLOGÍA	1
3.2	ESTADOS DE CARGA	6
3.2.1	GENERALIDADES	6
3.2.1.1	Clasificación de las Cargas	6
3.2.1.2	Clasificación según su Variación en el Tiempo.....	7
3.3	PESO PROPIO	12
3.4	EMPUJE DEL SUELO	14
3.4.1	GENERALIDADES	14
3.4.2	PRESIÓN DE TIERRA DE SUELO GRANULAR	15
3.4.3	EMPUJE DE TIERRA DE SUELO COHESIVO	15
3.4.4	EFFECTO DEL AGUA	15
3.4.5	EMPUJE DE SOBRECARGA	15
3.5	EMPUJE HIDRÁULICO	16
3.5.1	GENERAL	16
3.5.2	PRESIÓN DE AGUA RESIDUAL ESTÁTICA.....	16
3.5.3	PRESIÓN DE AGUA RESIDUAL ANTE UN SISMO.....	16
3.6	SOBRECARGA UNIFORME	17
3.7	SISTEMAS DE TRANSPORTE Y MANIPULACIÓN DE CARGA.....	19
3.7.1	GENERAL	19
3.7.2	EQUIPOS FIJOS Y MONTADOS SOBRE RIELES	19
3.7.3	CINTAS TRANSPORTADORAS Y TUBERÍAS.....	20
3.7.4	GRÚAS MÓVILES	20
3.7.5	TRÁFICO DE TRENES	20
3.7.6	TRÁFICO DE CAMIONES	21
3.7.7	IMPACTO	22
3.7.8	INCRUSTACIONES	22
3.7.9	CHUTES Y TOLVAS	22
3.8	EMBARCACIONES.....	23
3.8.1	NAVE DE DISEÑO.....	23

3.8.2	CARGAS DE ATRAQUE	23
3.8.2.1	General	23
3.8.2.2	Energía de Atraque	24
3.8.3	CARGAS DE AMARRE	32
3.8.3.1	General	32
3.8.3.2	Viento	33
3.8.3.3	Corriente	39
3.8.3.4	Esfuerzos de Presión	39
3.8.3.5	Esfuerzos de Fricción	43
3.8.3.6	Oleaje	44
3.8.3.7	Deformación	48
3.8.4	FUERZA DEBIDA AL PORTALÓN DEL BUQUE	49
3.9	VARIACIÓN DE TEMPERATURA	52
3.10	VIENTO	53
3.11	NIEVE	54
3.12	HIELO	55
3.12.1	FUERZA DE HIELO HORIZONTAL	55
3.12.1.1	Fuerza de Hielo Sólido	55
3.12.1.2	Fuerza Localizada de Trituración	56
3.12.1.3	Fuerza Térmica del Hielo	57
3.12.2	FUERZA DE HIELO EN LADERAS	58
3.12.3	FUERZA DE HIELO VERTICAL	60
3.12.3.1	Pilotes Cilíndricos	60
3.12.3.2	Muros Verticales	62
3.12.3.3	Estructuras Inclinas	62
3.13	OLEAJE	63
3.14	CORRIENTES	64
3.14.1	GENERAL	64
3.14.2	CARGAS HIDRÁULICAS DEBIDO A LAS CORRIENTES	64
3.14.2.1	General	64
3.14.2.2	Fuerza de Arrastre	64
3.14.2.3	Fuerza de Levantamiento	65
3.15	CARGAS SÍSMICAS	67
3.15.1	ESTRUCTURAS EN GENERAL	67
3.15.2	TALUDES	70
3.15.2.1	Equipos de Carga y Descarga	70
3.15.2.2	Masa Sísmica Pilotes	70

3.15.3 ESTRUCTURAS AISLADAS	70
3.16 CARGAS ESPECIALES	71
3.16.1 PRUEBAS DE CARGA	71
3.16.2 INUNDACIONES DEBIDAS A ROTURAS DE CANALIZACIONES O DEPÓSITOS	71
3.16.3 FALLAS DEL SISTEMA DE DRENAJE O DE CONTROL DE SUBPRESIONES	71
3.16.4 ELEVACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO DE PROYECTO EN LASTRES	71
3.16.5 EMPUJES DEBIDO A INESTABILIDADES DEL SUELO	72
3.16.6 DEPÓSITOS Y SOBRECARGADO.....	72
3.16.7 CARGAS DE CONSTRUCCIÓN	72
3.17 ANÁLISIS SÍSMICO.....	73
3.18 COMBINACIONES DE CARGA.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.7.6-1: Características camiones de diseño	21
Figura 3.8.2-1: Condiciones de maniobra y velocidad de atraque por tamaño del buque.....	26
Figura 3.8.2-2: Relación entre radio de giro alrededor del eje vertical y coeficiente de bloque ...	29
Figura 3.8.2-3: Ilustración esquemática del atraque de una embarcación	30
Figura 3.8.3-1: Esfuerzos resultantes de las presiones del viento sobre los buques	33
Figura 3.8.3-2: Esfuerzos resultantes de las presiones de la corriente sobre los buques.....	39
Figura 3.8.3-3: Factor de forma para el cálculo de presiones sobre un buque	41
Figura 3.8.3-4: Esfuerzos resultantes por fuerzas de fricción de la corriente en los buques	43
Figura 3.8.3-5: Esfuerzos resultantes de las fuerzas por el oleaje sobre los buques.....	45
Figura 3.8.3-6: Coeficiente de flotación adimensional	46
Figura 3.8.3-7: Coeficiente de profundidad	48
Figura 3.8.4-1: Definición de las acciones por rampas o portalones del buque	51
Figura 3.12.2-1: Hielo subiendo por estructura inclinada.....	58
Figura 3.12.3-1: Fuerza vertical en pilotes cilíndricos (Kerr 1975).....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.2.1-1:	Densidades de elementos constructivos	13
Tabla 3.5.3-1:	Sobrecarga normal y sísmica	18
Tabla 3.7.7-1:	Cargas de impacto vertical en estructuras portuarias	22
Tabla 3.8.3-1:	Valores usuales de h_T y h_L según tipo de buque de proyecto	36
Tabla 3.8.3-2:	Coeficientes de excentricidad	38
Tabla 3.8.3-3:	Coeficiente de excentricidad	42
Tabla 3.12.1-1:	Coeficiente de fricción	56
Tabla 3.12.1-2:	Valores de σ_c	57
Tabla 3.15.1-1:	Razón de amortiguamiento (ξ)	67
Tabla 3.15.1-2:	Valores máximos del factor de modificación de la respuesta (R)	68

3. ESTADOS DE CARGA Y COMBINACIONES

3.1 SIMBOLOGÍA

α	:	Ángulo entre el eje longitudinal de la nave considerado de proa a popa y la dirección de actuación del viento
α_{cr}	:	Ángulo entre el eje longitudinal de la nave considerado de proa a popa y la dirección de actuación de las corrientes
α_w	:	Ángulo entre el eje longitudinal de la nave considerado de proa a popa y la dirección de incidencia de las olas
α_w	:	Dirección del oleaje incidente
θ	:	Ángulo de atraque
CF	:	Ángulo formado sobre el eje longitudinal del buque, considerado de popa a proa, y la dirección de la resultante de fricción de la corriente
CP	:	Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de popa a proa, y la dirección de la resultante
	:	Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de popa a proa, y la dirección de la resultante
A	:	Peso específico del aire
∇	:	Volumen de desplazamiento de la embarcación
Δ	:	Aumento del nivel de agua hasta el espesor del hielo
ρ	:	Densidad del fluido, ya sea agua o aire
ρ_i	:	Densidad del hielo
ρ_w	:	Densidad del agua
σ_c	:	Resistencia a la rotura del hielo a compresión por trituración
σ_f	:	Resistencia a flexión del hielo
μ	:	Factor de fricción de la estructura inclinada
	:	Razón de Poisson
A	:	Área horizontal de la capa de hielo
a	:	Radio del pilote
A_{\perp}	:	Área proyectada del objeto en la dirección perpendicular a la corriente
A_L	:	Área de la proyección longitudinal del buque expuesta a la acción del viento
A_{LC}	:	Área longitudinal sumergida del buque sometido a la acción de la corriente
A_{LCF}	:	Área de la superficie del buque mojada longitudinalmente a la dirección de crujías

A_P	:	Área proyectada del objeto en la dirección de la corriente
A_T	:	Área de la proyección transversal del buque expuesta a la acción del viento
A_{TC}	:	Área transversal sumergida del buque sometido a la acción de la corriente
A_{TCF}	:	Área de la superficie del buque mojada transversalmente a la dirección de crujías
B	:	Manga
B	:	Flotabilidad
b	:	Diámetro o ancho horizontal de la estructura.
Be	:	Fuerza de atraque
C	:	Coeficiente
C	:	Carga de corriente sobre la estructura
C_b	:	Coeficiente de bloque de la embarcación
C_c	:	Factor de configuración del muelle
C_{CL}	:	Factor de forma para el cálculo de la resultante de las presiones de la corriente sobre el buque, actuando en la dirección de su eje longitudinal
C_{CT}	:	Factor de forma para el cálculo de las presiones de la corriente sobre el buque, actuando en la dirección de su eje transversal
C_D	:	Coeficiente del arrastre
C_{dw}	:	Coeficiente de profundidad
C_e	:	Factor de excentricidad
C_{fw}	:	Coeficiente de flotación
C_L	:	Coeficiente de levantamiento.
C_m	:	Factor de masa hidrodinámica
C_R	:	Coeficiente de rozamiento
C_s	:	Factor de flexibilidad
C_s	:	Carga de corriente sobre el buque
C_{sf}	:	Coeficiente de fricción entre el viento y el hielo o agua y el hielo.
C_V	:	Factor de forma
D	:	Calado máximo de la embarcación
D	:	Carga permanente
DT	:	Desplazamiento
DWT	:	Peso Muerto
E	:	Módulo de elasticidad del hielo
E	:	Empuje del suelo
e	:	Radio de distancia entre defensas, medido en la dirección longitudinal del barco, y la longitud entre perpendiculares
E_A	:	Energía atraque

E_{CV}	:	Módulo de elasticidad promedio para hielo
e_v	:	Excentricidad de la fuerza resultante del viento con respecto al CG (Centro de Gravedad) del buque medida a lo largo del plano de crujía.
EQ	:	Carga sísmica
F_C	:	Fuerza horizontal de trituración
F_D	:	Fuerza de arrastre actuando en el objeto en dirección de la corriente
F_h	:	Fuerza horizontal total.
F_L	:	Fuerza de levantamiento actuando en el objeto en dirección perpendicular a la corriente
F_{LCP}	:	Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante debida a la acción de la presión de corriente
F_{LCF}	:	Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante debida a la acción de la fricción de corriente
F_{LV}	:	Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante debida a la acción del viento
F_{LW}	:	Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante debida a la acción del oleaje
F_{TCF}	:	Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante debida a la acción de la fricción de corriente
F_{TCP}	:	Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante debida a la acción de la presión de corriente
F_{TV}	:	Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante debida a la acción del viento
F_{TW}	:	Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante debida a la acción del oleaje
G	:	Francobordo del buque
g	:	Aceleración de gravedad
GT	:	Tonelaje (Arqueo) Grueso
h	:	Profundidad de agua existente en el emplazamiento
h_i	:	Ancho de la capa de hielo.
h_L	:	Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta proyectada sobre un plano longitudinal
h_T	:	Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta proyectada sobre un plano transversal
H_s	:	Altura de la ola significativa de proyecto para la dirección determinada y a la profundidad de emplazamiento h .
I	:	Carga de impacto
k	:	Parámetro que representa la posición relativa del punto del barco más cercano al muelle
K_{ec}	:	Coeficiente de excentricidad asociado al cálculo de la acción de la corriente
K_{ev}	:	Coeficiente de excentricidad asociado al cálculo de la acción del viento

L	:	Eslora total del buque
l	:	Distancia, medida paralela a la línea de atraque, desde el punto de contacto del barco hasta su centro de gravedad
$L_1 (L_2)$:	Distancia desde el punto de contacto hasta el centro de gravedad de la embarcación medido paralelo a la línea de atraque del muelle cuando el barco hace contacto con la defensa F1 (F2)
L_c	:	Sobrecarga viva (concentrada)
LNG	:	Gas natural licuado (GNL)
LPG	:	Gas licuado del petróleo
L_{proy}	:	Longitud de la proyección del buque en la dirección del oleaje incidente
L_{pp}	:	Eslora entre perpendiculares
L_u	:	Sobrecarga viva (uniforme)
L_w	:	Longitud de ola a la profundidad del emplazamiento
m	:	Coeficiente de forma
M_s	:	Masa de la embarcación
M_{TCP}	:	Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque, asociado al cálculo de fuerzas de presión de corriente
M_{TV}	:	Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque, asociado al cálculo de fuerzas de viento
P	:	Fuerza vertical
PCC	:	Pure Car Carrier
R	:	Creep
r	:	Radio del largo del lado paralelo de la embarcación a la altura del punto de contacto con la defensa y la longitud entre perpendiculares
R_{CF}	:	Fuerza resultante horizontal de la acción de la fricción de la corriente sobre el buque
R_{CP}	:	Fuerza horizontal de la acción de las presiones de la corriente sobre el buque
r_T	:	Radio de rotación alrededor del eje vertical que pasa a través del centro de gravedad de la embarcación
R_v	:	Fuerza resultante horizontal
RORO	:	Buques roll-on roll-off
S	:	Retracción
T	:	Período del oleaje
T	:	Temperatura
U	:	Velocidad de flujo
u	:	Velocidad del fluido
u_i	:	Velocidad del hielo en la dirección de u
UFC	:	Unified Facilities Criteria
UKC	:	Under Keel Clearance (resguardo bajo la quilla)

V	:	Velocidad de atraque
V_{cr}	:	Velocidad relativa de la corriente referida al buque
V_V	:	Velocidad horizontal del viento de proyecto, relativa al barco
W	:	Viento sobre la estructura
W_s	:	Viento sobre el buque
Z	:	Máxima distancia vertical a subir por el hielo.

3.2 ESTADOS DE CARGA

3.2.1 GENERALIDADES

3.2.1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS CARGAS

Principalmente es posible clasificar las cargas de acuerdo a su variación tanto en el tiempo como en el espacio, así como con relación a su estado inercial. A continuación, se muestra distintas formas de clasificar las cargas:

a) Variación en el tiempo:

- Cargas Permanentes
- Cargas Variables
- Cargas Eventuales o Accidentales

b) Variación en el espacio:

- Cargas Fijas: Su repartición sobre la estructura está definida de forma no ambigua por medio de un sólo parámetro.
- Cargas Móviles: Dentro de límites dados, pueden ser arbitrariamente repartidas sobre la estructura.

c) Estado inercial:

- Cargas Estáticas: Su variación en el tiempo es muy pequeña de modo que las aceleraciones que se generan son despreciables y no introducen esfuerzos significativos en la estructura o elementos estructurales.
- Cargas Dinámicas: Su aplicación genera aceleraciones significativas en la estructura o elementos resistentes y el desarrollo de fuerzas inerciales.

3.2.1.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU VARIACIÓN EN EL TIEMPO

3.2.1.2.1 CARGAS PERMANENTES

Estas corresponden a cargas esencialmente gravitatorias, que actúan en todo momento durante las fases del proyecto que se analiza, siendo constantes en posición y magnitud, o no constantes, de variación lenta o despreciable, en comparación a su valor medio. De igual modo, se consideran como cargas permanentes aquellas cuya variación tenga lugar en un sólo sentido hasta alcanzar un cierto valor límite.

De acuerdo con esta definición se deben incluir bajo este concepto a:

- (1) Peso propio de elementos estructurales y terminaciones
- (2) Peso propio de equipos fijos e instalaciones
- (3) Contenido normal de recipientes, tolvas, correas y equipos
- (4) Peso de ductos sin acumulaciones ni incrustaciones.
- (5) Aislaciones
- (6) Cargas hidráulicas o de terreno permanentes

3.2.1.2.2 CARGAS VARIABLES

Cargas externas a la obra en sí, cuya magnitud y/o posición es variable a lo largo del tiempo de forma frecuente o continua, y de variación no despreciable en comparación a su valor medio.

Estas se pueden dividir en:

- (1) Empuje Hidráulico
- (2) Empuje de suelo
- (3) Cargas variables de uso o explotación
- (4) Cargas Medioambientales

(5) Cargas de Deformación

(6) Cargas de Construcción

3.2.1.2.2.1 EMPUJE HIDRÁULICO

Cargas asociadas a niveles de agua y a lastres líquidos o capa freática de otro tipo de lastre. Pueden diferenciarse en presiones hidrostáticas y presiones hidrodinámicas, asociadas a gradientes hidráulicos (redes de filtración, procesos de consolidación, entre otros).

3.2.1.2.2.2 EMPUJE DE SUELOS

Corresponden a presiones o empujes debido a la actuación directa de un terreno natural o de un relleno, o la indirecta de otras cargas a través de él.

Tanto las cargas hidráulicas enunciadas anteriormente y los empujes de suelo pueden clasificarse como cargas permanentes o variables de acuerdo a su variación de aplicación en el tiempo.

3.2.1.2.2.3 CARGAS VARIABLES DE USO O EXPLOTACIÓN

Son cargas asociadas al servicio y normal uso de la estructura resistente, las cuales pueden variar en posición y magnitud durante la fase de vida que se analice.

Entre estas podemos encontrar:

- (1) Sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento
- (2) Sobrecarga de equipos e instalaciones de manipulación de mercancía
- (3) Sobrecargas de tráfico
- (4) Sobrecargas por operación de buques

3.2.1.2.2.4 CARGAS MEDIOAMBIENTALES

Cargas debidas a la acción de fenómenos naturales, climáticos o medioambientales sobre la estructura resistente o sobre elementos que actúan sobre ella. La consideración de estas como cargas eventuales dependerá de la variación y frecuencia de ocurrencias de éstas respecto al tiempo de vida útil de la estructura, pudiéndose considerar también como permanentes o eventuales.

Entre éstas se encuentran:

- (1) Cargas debido al oleaje
- (2) Cargas debido a las corrientes
- (3) Cargas debido a variaciones de marea
- (4) Cargas de viento
- (5) Cargas debido a las precipitaciones
- (6) Cargas de hielo y nieve

3.2.1.2.2.5 CARGAS DE DEFORMACIÓN

Cargas producidas por deformaciones impuestas. Se dividen en:

- (7) Pretensado
- (8) Térmicas
- (9) Reológicas
- (10) Movimientos impuestos

3.2.1.2.2.6 CARGAS DE CONSTRUCCIÓN

Cargas transitorias asociadas específicamente al proceso de ejecución y puesta en obra del elemento resistente. Se dividen en:

- (1) Cargas Externas durante la Fabricación
- (2) Cargas Externas durante el Transporte
- (3) Cargas Externas durante la Instalación
- (4) Otras Cargas Externas

3.2.1.2.3 CARGAS ACCIDENTALES O EVENTUALES

Corresponden a cargas accidentales aquellas cargas de carácter fortuito o anormal que puedan presentarse como resultado de algún accidente, error humano, mal uso, o condiciones de trabajo o medioambientales excepcionales.

Se pueden considerar como cargas de carácter variable con poca probabilidad de actuación o pequeñas duraciones de aplicación a lo largo de la vida útil de la estructura, pero en el caso de producirse, su efecto puede ser significativo para la seguridad de la misma.

Las cargas accidentales a considerar en el dimensionamiento y los valores característicos de las mismas, podrán ser escogidos por el proyectista, cliente o autoridad competente, como aquellos por encima de los cuales se renuncia a asegurar la probabilidad de supervivencia de la estructura, sin perjuicio de las cargas mínimas fijadas por este documento u otras normas generales que sean de aplicación.

Se aconseja incluir en el cálculo aquellas cargas accidentales cuantificadas siempre y cuando puedan presentarse, sean compatibles con la estructura analizada y su actuación sea relevante, sin perjuicio de aquellas otras que el proyectista, cliente o autoridad Competente consideren necesarias para el dimensionamiento de la estructura.

Generalmente las cargas accidentales se presentan asociadas a cargas variables, como valores diferenciados de las mismas para la fase de servicio y condiciones excepcionales de trabajo.

Se podrá admitir que a consecuencia de la acción de cargas accidentales se produzcan daños locales en la estructura, siempre y cuando se verifique el estado límite último de colapso progresivo y el estado límite de utilización de daños permanentes.

Para el dimensionamiento de obras marítimas se consideran principalmente las siguientes cargas accidentales:

- 1) Acciones y sobrecargas producto de condiciones medioambientales eventuales, como sismo.
- 2) Pruebas de carga.
- 3) Inundaciones debidas a roturas de canalizaciones o depósitos.
- 4) Fallas del sistema de drenaje o de control de subpresiones.
- 5) Elevación del nivel freático de proyecto en lastres.
- 6) Empujes debido a inestabilidades del suelo.
- 7) Depósitos y sobredragado.
- 8) Socavaciones o erosiones del terreno producidas por hélices de buques es maniobras excepcionales o por corrientes extraordinarias.
- 9) Colisiones y sobrecargas locales excepcionales.
- 10) Impactos y sobrecargas debidos a maniobras o situaciones operativas excepcionales de distintos medios de transporte o de buques de proyecto.
- 11) Sobrecargas debidas a operaciones de buques en condiciones excepcionales de carga.

3.3 PESO PROPIO

El peso propio, o carga muerta de una estructura, consiste en el peso de todos los materiales de construcción tanto estructurales como arquitectónicos, además de los equipamientos de servicio fijos.

Se incluye en este ítem, los pesos correspondientes a los distintos elementos resistentes o estructurales, así como también la carga producida por el peso de todos los elementos no resistentes en el sentido estructural, soportados o incluidos en la estructura resistente de forma permanente. Dentro de estas cargas, se encuentra el peso de los elementos constructivos, pavimentos, equipamiento, instalaciones fijas, rellenos, lastres y adherencias marinas.

Los valores característicos de la carga se deducen de las dimensiones reales (sección transversal neta) y pesos específicos unitarios o aparentes, correspondientes a los distintos elementos y materiales en las condiciones más desfavorables para la seguridad de la estructura.

Cuando partes de la estructura están completamente, parcial o intermitentemente sumergidas, será preferible considerar las cargas hidráulicas o sub presiones como un sistema de cargas aplicado independiente del peso propio. Se exceptúa de esto los elementos compuestos, en donde se utilizan pesos específicos sumergidos para la determinación del peso propio, siempre y cuando no existan gradientes hidráulicos significativos, y, por lo tanto, no se considera en el cálculo la existencia de redes de filtración o procesos de consolidación.

Es preferible que los pesos del equipamiento y de las instalaciones sean obtenidos directamente de los fabricantes y proveedores, o mediante pesadas directas de los elementos correspondientes.

Dada su poca relevancia en relación a otras imprecisiones del cálculo, la carga muerta debidas a adherencias marinas se consideran únicamente en aquellos casos en que el aumento de peso originado por ellas pueda ser relevante para la estructura.

En la determinación del peso propio, se debe incluir una estimación realista de todos los anexos presentes y futuros. Una sobreestimación del peso propio generalmente no afectará significativamente el costo de la estructura, sin embargo, podría no ser conservador para los elementos controlados por tensión o estructuras sometidas a empujes de levantamiento.

A continuación se presentan algunos valores de referencia para materiales de construcción:

Tabla 3.2.1-1: Densidades de elementos constructivos

Material	(kg/m³)
Acero laminado	7.850
Grava y arena húmedas	1.850
Grava y arena secas	1.750
Hormigón sin armar	2.400
Hormigón armado	2.500
Carbón (finos)	898 – 1.000
Ciprés de Las Guaitecas (densidad anhidra)	470
Pino radiata (densidad anhidra)	450

Fuente: Norma Chilena NCh1537.Of2009

3.4 EMPUJE DEL SUELO

3.4.1 GENERALIDADES

Estas cargas corresponden a presiones, empujes y otros esfuerzos ejercidos por un terreno natural o relleno, sobre los distintos elementos de una estructura resistente; o las reacciones que tales estructuras pueden originar en el terreno para lograr su equilibrio.

Estos esfuerzos serán debido a:

- 1) La actuación directa del terreno
- 2) La actuación indirecta de otras cargas a través de él
- 3) Acciones inducidas por movimientos de la estructura resistente.
- 4) Acciones inducidas por movimientos del terreno no dependientes de la estructura analizada

Las cargas ejercidas por el terreno sobre una estructura se determinan, principalmente, en función de los siguientes factores:

- 1) Tipo de estructura.
- 2) Comportamiento de la estructura (deformabilidad).
- 3) Interacción suelo-estructura: posibilidad de movimientos del terreno.
- 4) Características del terreno: características físicas del suelo, geometría de la masa de suelo, estratigrafía, grado de compactación y saturación, entre otras.
- 5) Actuación indirecta de otras cargas a través del terreno o estructura.
- 6) Nivel freático.
- 7) Modificaciones o variaciones de las presiones intersticiales con respecto al estado hidrostático: proceso de consolidación, existencia de red de filtración, drenaje, agotamiento y presión artesiana.

- 8) Método constructivo.
- 9) Posibles modificaciones geométricas de la masa de suelo y de las condiciones de utilización de la estructura analizada durante su vida útil.

Para el cálculo de los empujes de suelo refiérase al Capítulo 2.7 "Geotécnia".

3.4.2 PRESIÓN DE TIERRA DE SUELO GRANULAR

Para presión de tierra de suelo granular, refiérase al Capítulo 2.7.6.

3.4.3 EMPUJE DE TIERRA DE SUELO COHESIVO

Para empuje de tierra de suelo cohesivo, refiérase al Capítulo 2.7.6.

3.4.4 EFECTO DEL AGUA

Para efecto del agua, refiérase al Capítulo 2.7.6.

3.4.5 EMPUJE DE SOBRECARGA

Para empuje de sobrecarga, refiérase al Capítulo 2.7.6.

3.5 EMPUJE HIDRÁULICO

3.5.1 GENERAL

El empuje hidráulico corresponde a las cargas producidas por el agua y otros líquidos, actuando predominantemente como aguas exteriores libres, capas freáticas en rellenos y terrenos naturales, y lastres; cuyos niveles de actuación se mantengan en reposo sensiblemente invariables en relación con el tiempo de respuesta de la estructura resistente (por ejemplo, variaciones del nivel del mar, régimen hidráulico de las corrientes fluviales).

El empuje hidráulico se puede diferenciar en presiones hidrostáticas y presiones hidrodinámicas asociadas a gradientes hidráulicos.

No se consideran como cargas hidráulicas las cargas debidas al oleaje y corrientes, tanto en lo que se refiere a variaciones de los niveles de agua como a los aspectos dinámicos del agua en movimiento.

Para el cálculo del empuje hidráulico refiérase al Capítulo 2.7 “Geotecnia”.

3.5.2 PRESIÓN DE AGUA RESIDUAL ESTÁTICA

Para presión de agua residual estática, refiérase al Capítulo 2.7.6.

3.5.3 PRESIÓN DE AGUA RESIDUAL ANTE UN SISMO

Para presión de agua residual ante un sismo, refiérase al Capítulo 2.7.6.

3.6 SOBRECARGA UNIFORME

Acciones de naturaleza estática, variable en el tiempo y que se determinan en base a la función y uso de los espacios. Presentan variaciones frecuentes o continuas, no despreciables frente a su valor medio. En este tipo de cargas, se incluirán las sobrecargas de pisos debido al tránsito y/o permanencia de personas, sobrecargas yacentes no permanentes, cargas provenientes de la operación de vehículos y presiones laterales y verticales de líquidos, gases y material en general, que pudiese ser variable en el tiempo como resultado de la operación normal.

Las sobrecargas de almacenamiento son aquellas cargas variables generadas principalmente por el peso de materiales, suministros o mercancías almacenadas o apiladas en el interior de instalaciones específicas o de instalaciones auxiliares para su transporte y manipulación, cuya actuación y distribución es constante durante un periodo de tiempo más o menos prolongado.

La determinación de la sobrecarga de almacenamiento se realiza teniendo en cuenta el uso previsto del área en que actúa y la forma en que solicita a la estructura resistente, tomando en consideración:

- Naturaleza de la materia almacenada: ya sea granel, mercancía general, contenedores.
- Forma y dimensiones máximas del almacenamiento.
- Cantidad máxima que puede manipularse.
- Método y maquinaria de manipulación
- Naturaleza y característica de la estructura de almacenamiento.

Dichas cargas pueden ser tratadas como cargas verticales repartidas o concentradas según la naturaleza de los materiales, su forma de actuación o apoyo y la existencia o no de elementos de reparto. Se considera la situación más desfavorable para el elemento estructural analizado o puede quedar limitado el cálculo por la compatibilidad con las sobrecargas de instalaciones de manipulación de mercancías o con las cargas de tráfico.

Generalmente, y pese a las características de la estructura o los elementos de apoyo, las sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento se pueden tratar únicamente como repartidas, al presentarse esta distribución como crítica para el dimensionamiento de la mayor parte de las estructuras usuales. No obstante, en estructuras de poca luz, losas u otros tipos de elementos de gran sensibilidad a efectos locales, siempre que se puedan presentar grandes cargas concentradas actuando directamente sobre la estructura resistente (por ejemplo, muelles, astilleros), deberán, además, comprobarse dichas estructuras con cargas concentradas.

En estos casos las grandes cargas concentradas podrán ser convertidas en cargas uniformes equivalentes, únicamente para cálculos de estabilidad.

En grandes áreas, las sobrecargas podrán ser reducidas de acuerdo con su probabilidad de ocurrencia y según se indique en los planos de ingeniería de detalle y de proceso.

En general cuando no exista información tanto de la sobrecarga como de su probabilidad de ocurrencia, regirán las recomendaciones de la norma NCh 1537.Of2009. Se debe tener presente que los valores dados en esta norma tiene el carácter de valores mínimos.

Tabla 3.5.3-1: Sobrecarga normal y sísmica

Elemento	Sobrecarga Normal (kg/m ²)	Sobrecarga sísmica (kg/m ²)
Áreas de almacenamiento pesado	5.000	2.500
Edificios para instalaciones eléctricas	1.500	375
Áreas de almacenamiento liviano	750	188
Duques de alba	500	125
Plataformas, pasillos principales, pisos de casetas de transferencia y pisos de plantas de chancado	500	125
Pasillos de cintas transportadoras	250	63
Piso de oficinas, casas de cambio, plataformas menores, etc.	250	63
Techos	100	-
Muelle y puente de acceso*	1.000	500

* Muelles peatonales y/o con ingreso de camión tipo 3/4

Fuente: Elaboración propia

3.7 SISTEMAS DE TRANSPORTE Y MANIPULACIÓN DE CARGA

3.7.1 GENERAL

Sistema de transporte y manipulación de cargas que operan dentro de un puerto pueden ser clasificados como:

- Equipos fijos y montados sobre rieles
- Cintas transportadoras y tuberías
- Grúas móviles
- Tráfico ferroviario
- Tráfico vehicular

La sollicitación impuesta a las estructuras debe ser considerada en ambas direcciones vertical y horizontal. En el diseño de la superestructura de las obras, se deben considerar los efectos de impactos.

Las operaciones de las grúas, generalmente, son detenidas cuando hay velocidades de viento alta, por lo tanto, se debe considerar la velocidad de tormenta actuando sobre la grúa detenida.

3.7.2 EQUIPOS FIJOS Y MONTADOS SOBRE RIELES

Para equipos de manejo de cargas fijas y montadas sobre rieles, las sollicitaciones deberán ser calculadas para el equipo que será instalado teniendo en cuenta las cargas muertas, cargas vivas y los efectos de viento y nieve. Se deben considerar las fuerzas verticales y horizontales. Las cargas vivas deben incluir los efectos dinámicos originados de desplazamiento, de giro, frenado y de elevación

3.7.3 CINTAS TRANSPORTADORAS Y TUBERÍAS

Las cargas de cintas transportadoras y tuberías deberán ser calculadas para cada instalación tomando en consideración la tasa de transporte, densidad del material, cambios de dirección, efectos de temperatura y tipos de soporte.

Los tirones normales de la correa se estimarán en base de la potencia de los motores. Los tirones de partida serán un 50% superior a los normales.

3.7.4 GRÚAS MÓVILES

Para la consideración de las cargas impuestas por grúas se deberá considerar los catálogos y recomendaciones del fabricante.

3.7.5 TRÁFICO DE TRENES

El tráfico de trenes en puertos difiere del tráfico normal dado que en un puerto:

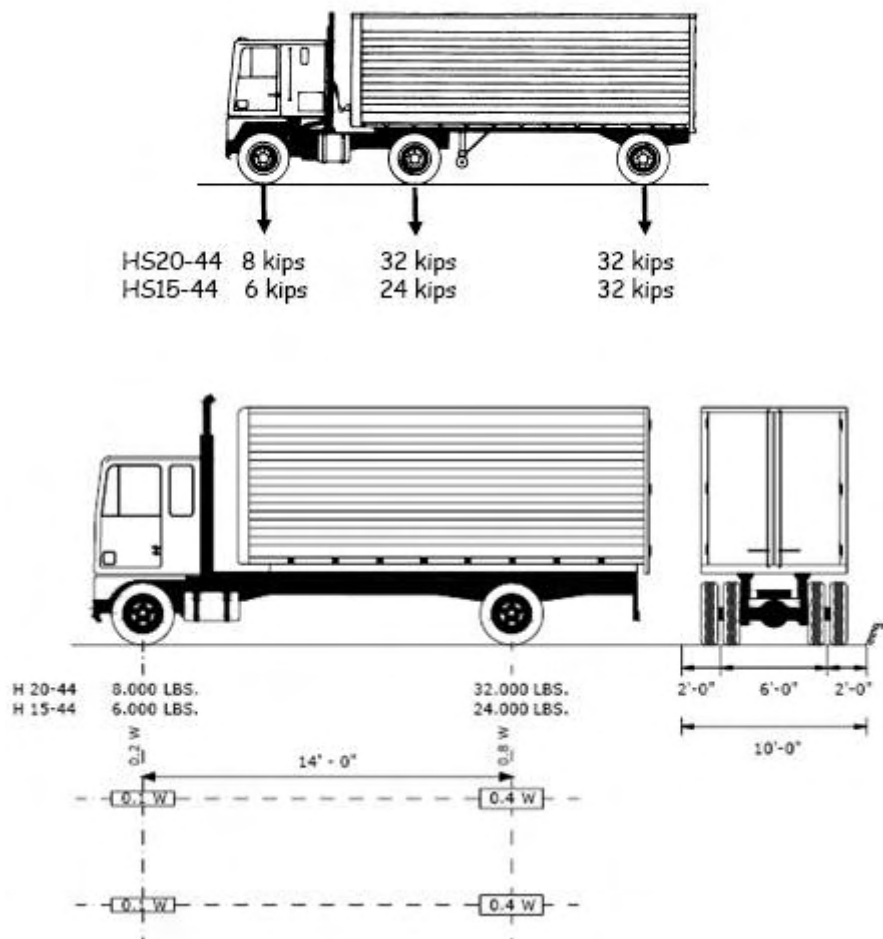
- Es posible restringir la velocidad
- Pueden existir numerosos cruces y curvas de diámetro menor
- Es posible sólo en algunas áreas utilizar locomotoras de maniobras
- Los vagones del tren estarán sujetos a solicitaciones de impactos

Las cargas de tren deben ser aplicadas de tal manera que produzcan el máximo efecto en las estructuras o sus miembros, tomando en consideración el peso neto, el peso cargado, la distribución de los ejes del tren o los carros generalmente usados en la sección objetivo del trayecto. De este modo las cargas de tren deben ser aplicadas como un set de múltiples cargas en sucesión, sin dividir en dos o más set separados.

3.7.6 TRÁFICO DE CAMIONES

Las cargas producto del tráfico de camiones se realizarán tomando en consideración las recomendaciones de la norma AASHTO-1998. Los camiones de diseño deberán ser determinados en concordancia con las características de uso de la estructura. En la norma AASHTO existen 4 tipos camiones estándar de diseño los cuales corresponden a H20, H15, HS20 y HS15. La serie H15 y HS15 es equivalente al 75 de la serie H20 y HS20 respectivamente.

Figura 3.7.6-1: Características camiones de diseño



Fuente: Norma AASHTO-1998

3.7.7 IMPACTO

Se deberá usar un factor de impacto según lo establecido en norma AASHTO-1998 sobre las cargas de rueda para el diseño de elementos estructurales, tales como losa de aproximación del estribo y superestructura del puente de acceso, y para los elementos estructurales que estén solicitados por equipos móviles o estáticos en operación, como la plataforma del cabezo. Las consideraciones anteriores serán válidas siempre y cuando las entregadas a continuación no generen una condición más desfavorable.

Tabla 3.7.7-1: Cargas de impacto vertical en estructuras portuarias

Equipos de Transporte y Manejo de Carga	Impacto
Grúas y equipos montados sobre rieles	25%
Equipos y vehículos sobre ruedas neumáticas: camiones, grúas, grúas horquillas, etc.	15%
Ferrocarriles	20%

Fuente: Unified Facilities Criteria UFC-4-152-01

3.7.8 INCRUSTACIONES

Las estructuras de soporte de correas se diseñarán para cargas adicionales equivalentes al 10% de la sobrecarga de material transportado por la correa.

3.7.9 CHUTES Y TOLVAS

Las estructuras de traspaso de y hacia cintas transportadoras, se diseñarán para la eventualidad en que se encuentren llenas de material.

3.8 EMBARCACIONES

3.8.1 NAVE DE DISEÑO

Entre los barcos que usan la instalación en cuestión, se asume que el barco de diseño es el que tendrá los mayores efectos en la realización de la verificación de la instalación. Se debe considerar que la embarcación de diseño no necesariamente es aquella con un mayor tonelaje bruto.

Las dimensiones de las embarcaciones de diseño deberán ser establecidas de acuerdo a los métodos propuestos en los siguientes ítems:

- En el caso donde la embarcación de diseño es identificable se deben usar las dimensiones de esta.
- En el caso donde la embarcación de diseño no es conocida, las dimensiones deberán ser apropiadamente establecidas basadas en análisis estadísticos de las dimensiones de los barcos en operación.

3.8.2 CARGAS DE ATRAQUE

3.8.2.1 GENERAL

Las cargas de atraque corresponden a las reacciones generadas entre un buque y la estructura de atraque, desde el momento en que se produce el primer contacto entre ellos hasta que finalmente se alcanza el reposo. La magnitud de estas cargas depende no sólo del tamaño y la velocidad de la embarcación, sino también de la naturaleza de la estructura, incluida la defensa, y el grado de resiliencia que presente bajo el impacto.

En el caso de estructuras de atraque de paramento vertical (por ejemplo, malecones), las cargas de atraque son resistidas, usualmente, por la presión pasiva del suelo, desarrollada detrás del paramento, con efectos menores en la estructura misma. En consecuencia, se requerirán consideraciones mínimas, excepto aquellas para minimizar el daño a las embarcaciones. Así mismo, el desplazamiento de agua de la embarcación, al momento de acercarse al muro, tiene un efecto de colchón y ayuda a reducir la velocidad de aproximación. Para el resto de las estructuras, las cargas de atraque son una consideración de diseño predominante.

Siempre es posible que ocurran impactos catastróficos debido a embarcaciones fuera de control. Las previsiones necesarias para aquellos impactos, particularmente, si vulneran tuberías de petróleo o gas, deberán ser consideradas en relación a las consecuencias de aquellos impactos, con respecto al riesgo de pérdida de vidas o daño medioambiental, así como también, el costo de las reparaciones.

La estimación de la energía y fuerzas de ataque será efectuada en base a la velocidad y ángulo de ataque de las naves, conforme a normas de diseño o recomendaciones del proyectista y el sistema de defensas a utilizar. Con esta energía de ataque, se seleccionará un sistema de defensas adecuado, de modo de lograr un mínimo traspaso de fuerza reactiva hacia la estructura y una presión sobre el casco de las naves acorde a las recomendaciones técnicas sobre la materia.

3.8.2.2 ENERGÍA DE ATRAQUE

3.8.2.2.1 GENERAL

La acción causada por el ataque de embarcaciones es, generalmente, obtenida de la energía generada en el proceso. Ésta puede ser calculada con la ecuación siguiente, a partir de la masa y velocidad de ataque de la embarcación, de los factores de excentricidad, masa virtual, flexibilidad y configuración del sitio de ataque.

La energía de ataque efectiva deberá ser calculada mediante la siguiente fórmula:

$$E_A = \frac{1}{2} \cdot M_s \cdot V_b^2 \cdot C_e \cdot C_m \cdot C_s \cdot C_c \quad (3-1)$$

Donde:

E_A : Energía ataque, kN m

M_s : Masa de la embarcación, t

V : Velocidad de ataque, m/s

C_e : Factor de excentricidad

C_m : Factor de masa hidrodinámica

Cs : Factor de flexibilidad

Cc : Factor de configuración del muelle

3.8.2.2.2 MASA DE LA EMBARCACIÓN

La masa de la embarcación a utilizar en la ecuación anterior para el cálculo de la energía de atraque corresponde al desplazamiento máximo del buque. A continuación, se presentan relaciones entre el desplazamiento (DT), peso muerto (DWT) y tonelaje grueso (GT) de la embarcación, entregados en la norma japonesa de puertos. Estos valores deben ser utilizados tomando en consideración las recomendaciones y restricciones que entrega la normativa japonesa para su uso.

Naves de carga general	:	DT = 1,174 DWT
Buque porta-contenedores	:	DT = 1,385 DWT
Buque Tanque	:	DT = 1,235 DWT
Buques roll-on roll-off (RORO)	:	DT = 1,022 GT
Pure Car Carrier (PCC)	:	DT = 0,751 GT
Buque transporte LPG	:	DT = 1,400 GT
Buque transporte LNG	:	DT = 1,118 GT
Barco de pasajeros	:	DT = 0,573 GT
Ferris de navegación corta a media (menor a 300 km)	:	DT = 1,279 GT
Ferris de navegación larga (distancia mayor a 300 km)	:	DT = 1,240 GT

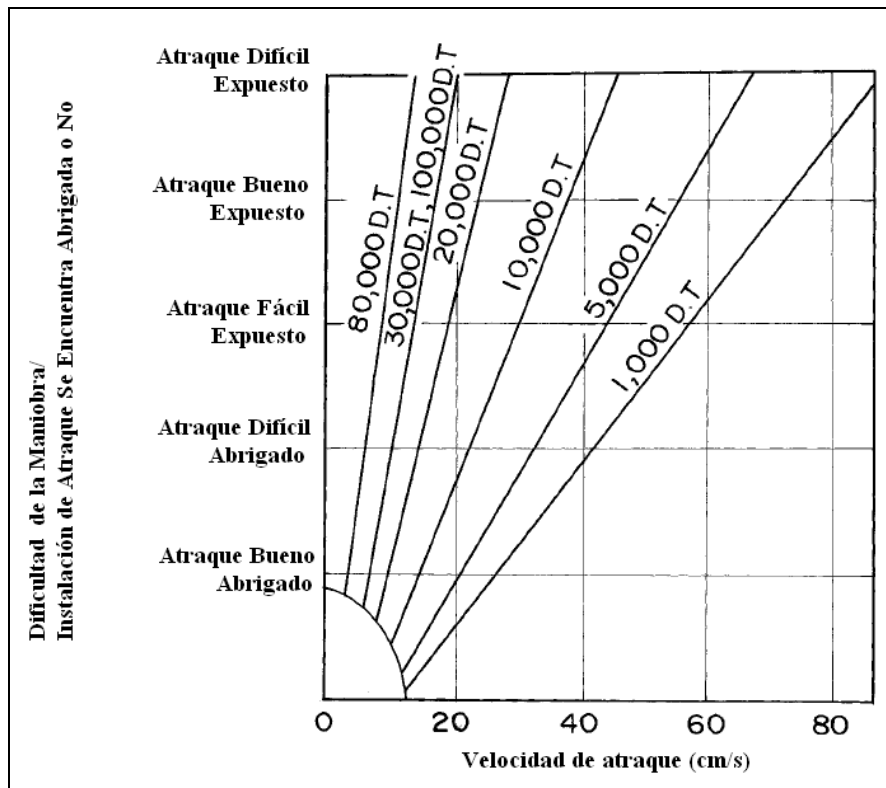
3.8.2.2.3 VELOCIDAD DE ATRAQUE

Es preferible determinar los valores característicos de la velocidad de atraque basado en mediciones reales o referencias de mediciones previas de velocidades de atraque, tomando en consideración el tipo de embarcación de diseño, condiciones de carga,

localización y restructuración de la instalaciones de amarre, fenómenos meteorológicos y oceanográficos, el uso de lancha remolcadora, etc.

La Figura 3.8.2-1 muestra la relación entre las condiciones de maniobra de la embarcación y la velocidad de atraque por tamaño de embarcación. Fue preparada en base a datos empíricos recolectados. Esta figura muestra que la velocidad de atraque debe ser mayor en los casos en que la instalación de atraque no se encuentre protegida y esté siendo usada por embarcaciones pequeñas.

Figura 3.8.2-1: Condiciones de maniobra y velocidad de atraque por tamaño del buque



Fuente: Technical Standard and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan-2009

3.8.2.2.4 FACTOR DE MASA HIDRODINÁMICA: C_M

El factor de masa hidrodinámica permite considerar el movimiento del agua alrededor del barco para el cálculo de la energía total de la embarcación, a través del incremento de la masa del sistema.

El factor de masa hidrodinámica puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$C_m = 1 + \frac{D}{2 \cdot C_b} \cdot \frac{D}{B} \quad (3-2)$$

$$C_b = \frac{\nabla}{L_{pp} \cdot B \cdot D} \quad (3-3)$$

Donde

C_b : Coeficiente de bloque de la embarcación.

∇ : Volumen de desplazamiento de la embarcación (DT/w), m^3

L_{pp} : Eslora entre perpendiculares, m

B : Manga, m

D : Calado máximo de la embarcación, m

3.8.2.2.5 FACTOR DE EXCENTRICIDAD: C_E

El factor de excentricidad puede ser calculado con la siguiente ecuación:

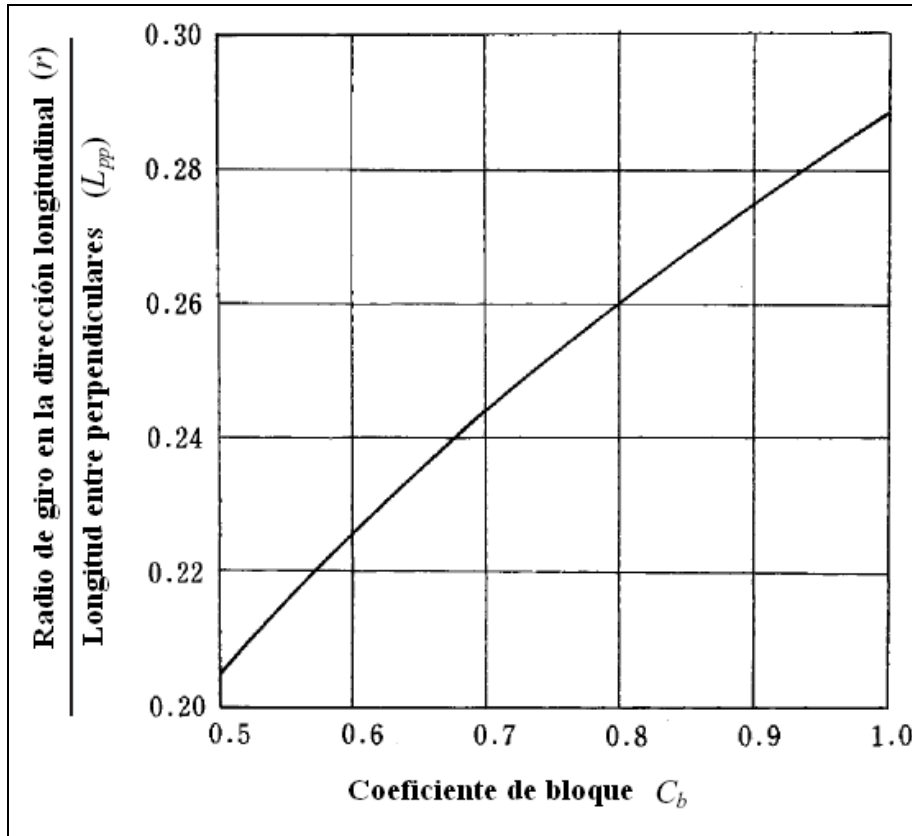
$$C_e = \frac{1}{1 + \left(\frac{l}{r_T} \right)^2} \quad (3-4)$$

Donde

- l : Distancia, medida paralela a la línea de atraque, desde el punto de contacto del barco hasta su centro de gravedad, m.
- r_T : Radio de rotación alrededor del eje vertical, que pasa a través del centro de gravedad de la embarcación, m.

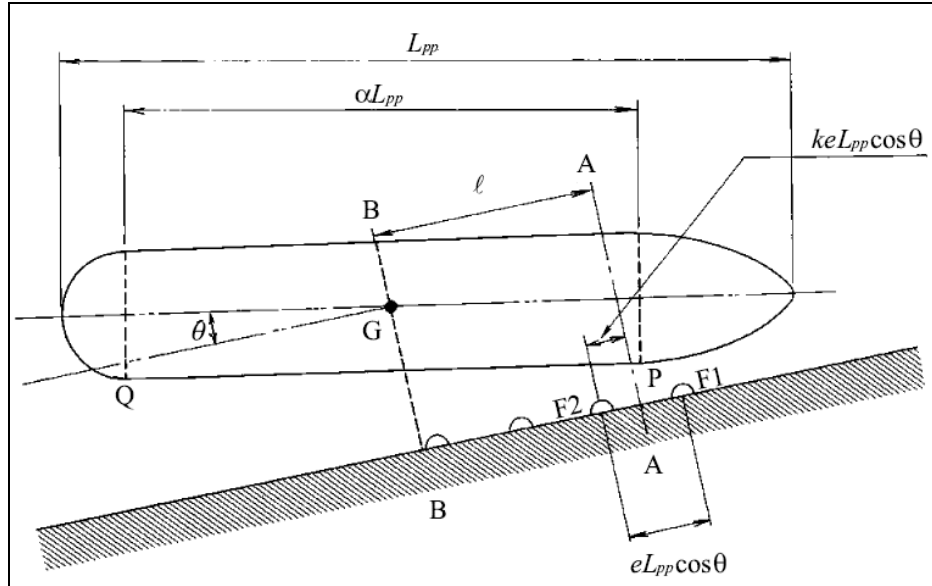
Durante el proceso de atraque, la embarcación no se encuentra alineada perfectamente a lo largo del frente de atraque del muelle. Esto significa que cuando la embarcación entra en contacto con el sistema de defensa, ésta comienza a girar en su eje vertical (guiñada) y en su eje horizontal (escora). Esto resulta en la pérdida de una parte de la energía cinética del barco. La energía que se pierde con el escorado es despreciable comparada con la que se pierde en la guiñada. La ecuación anterior sólo considera la cantidad de energía perdida en la guiñada.

Figura 3.8.2-2: Relación entre radio de giro alrededor del eje vertical y coeficiente de bloque



Fuente: Technical Standard and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan-2009

Figura 3.8.2-3: Ilustración esquemática del atraque de una embarcación



Fuente: Technical Standard and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan-2009

Como se muestra en la Figura 3.8.2-3, cuando un barco entra en contacto con las defensas F1 y F2 comienza la embarcación a acercarse al muelle en el punto P, la distancia l desde el punto de contacto al centro de gravedad del barco medido paralelo a la línea de atraque del muelle es dado por la ecuaciones (38) y (39). Donde l es calculado como L_1 cuando $k > 0,5$ y L_2 cuando $k < 0,5$. Cuando $k = 0,5$ se utilizará el resultado mayor entre L_1 y L_2 .

$$L_1 = [0.5 \cdot r + e \cdot (1 - k)] \cdot L_{pp} \cdot \cos(\theta) \quad (3-5)$$

$$L_2 = (0.5 \cdot r - e \cdot k) \cdot L_{pp} \cdot \cos(\theta) \quad (3-6)$$

Donde:

$L_1, (L_2)$: Distancia desde el punto de contacto hasta el centro de gravedad de la embarcación medido paralelo a la línea de atraque del muelle cuando el barco hace contacto con la defensa F1 (F2), m.

- θ : Ángulo de atraque (el ángulo de atraque es dado como una condición de diseño. Usualmente se considera en el rango de 0 a 10°).
- e : Radio de distancia entre defensas, medido en la dirección longitudinal del barco y la longitud entre perpendiculares.
- r : Radio del largo del lado paralelo de la embarcación a la altura del punto de contacto con la defensa y la longitud entre perpendiculares. Este radio varía de acuerdo a los factores tales como el tipo de barco, la longitud entre perpendiculares, el coeficiente de bloques, etc. Generalmente se encuentra en el rango de 1/3 a 1/2.
- k : Parámetro que representa la posición relativa del punto del barco más cercano al muelle entre las defensas F1 y F2, k varía entre $0 < k < 1$ pero es generalmente tomado como $k = 0,5$.

3.8.2.2.6 COEFICIENTE DE FLEXIBILIDAD: C_s

El coeficiente de flexibilidad C_s es el radio entre la energía de atraque absorbida por la deformación del casco del barco y la energía de atraque del barco. El valor característico del coeficiente de flexibilidad es normalmente establecido como $C_s = 1$, asumiendo que no existe absorción de energía por la deformación del casco.

3.8.2.2.7 COEFICIENTE DE CONFIGURACIÓN DEL MUELLE: C_c

La masa de agua comprimida entre la embarcación atracando y la estructura de atraque, se comporta como un colchón y disminuye la energía a ser absorbida por el sistema de defensas. El coeficiente de configuración C_c necesita ser determinado tomando en cuenta este efecto. Este fenómeno es considerado en relación al ángulo de atraque, la forma del casco, UKC y velocidad de atraque, pero sólo un limitado número de estudios han sido realizados. El valor característico del coeficiente de configuración del muelle C_c es normalmente establecido como $C_c = 1$.

3.8.3 CARGAS DE AMARRE

3.8.3.1 GENERAL

Las cargas de amarre corresponden a las cargas impuestas sobre una estructura por un buque atracado, a través del contacto entre éste y la estructura o el sistema de defensas, a través de líneas de amarre tensionadas. También se consideran como cargas de amarre aquellas debidas a maniobras del buque atracado.

Las cargas de amarre son causadas por acciones exteriores, fundamentalmente medioambientales, que se ejercen sobre el buque atracado. Su magnitud dependerá, principalmente, de las características geométricas y físicas del sistema buque/amarras/defensas.

Las principales fuerzas exteriores causantes son:

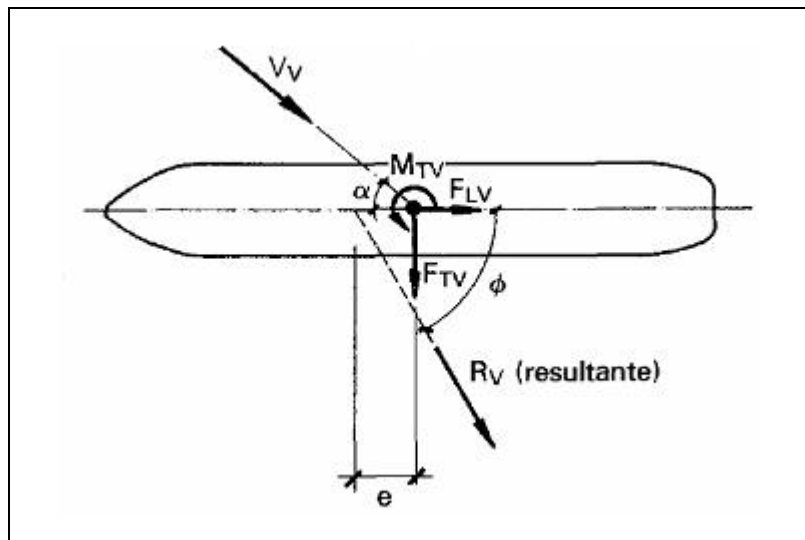
- Viento
- Corrientes
- Oleaje
- Resonancia por fenómenos de ondas largas
- Mareas
- Ubicación del amarre en zonas con flujos y reflujos importantes de agua
- Hielo

Dependiendo de la importancia del proyecto y de las condiciones del lugar, durante el desarrollo de la Ingeniería Conceptual o Básica, es recomendable realizar un estudio del comportamiento de la nave amarrada.

3.8.3.2 VIENTO

El esfuerzo resultante de las presiones del viento sobre los buques podrá ser discretizado en una fuerza horizontal en el sentido longitudinal del buque, otra en el sentido transversal y un momento en el eje vertical. Todos ellos aplicados en el centro de gravedad del buque. Estas fuerzas originadas por la presión del viento podrán ser determinadas con la ayuda de las ecuaciones expresadas a continuación y sin perjuicio de otros métodos existentes.

Figura 3.8.3-1: Esfuerzos resultantes de las presiones del viento sobre los buques



Fuente: Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM 3.1-99)

Las ecuaciones generales para el cálculo de la fuerza de arrastre son:

$$R_v = \frac{A}{2 \cdot g} \cdot C_v \cdot V_v^2 \cdot (A_T \cdot \cos^2(\alpha) + A_L \cdot \sin^2(\alpha)) \quad (3-7)$$

$$\tan(\phi) = \frac{A_L}{A_T} \cdot \tan(\alpha) \quad (3-8)$$

$$F_{TV} = R_V \cdot \text{sen}(\) \quad (3-9)$$

$$F_{LV} = R_V \cdot \text{cos}(\) \quad (3-10)$$

$$M_{TV} = F_{TV} \cdot e_V = F_{TV} \cdot K_{ev} \cdot L \quad (3-11)$$

Donde:

R_V : Fuerza resultante horizontal, t.

: Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de popa a proa, y la dirección de la resultante, °.

F_{TV} : Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante, t.

F_{LV} : Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante, t.

M_{TV} : Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque, tm.

A : Peso específico del aire ($1,225 \cdot 10^{-3}$ ton/m³).

g : Aceleración de gravedad (9,81 m/s²).

C_V : Factor de forma. Puede variar entre 1,0 y 1,3. A falta de valores más precisos se podrá utilizar 1,3.

α : Ángulo entre el eje longitudinal de la nave considerado de proa a popa y la dirección de actuación del viento, °. Se considera que el viento puede actuar en cualquier dirección.

V_V : Velocidad horizontal del viento de proyecto, relativa al barco, correspondiente a 10 m de altura, supuesta constante para toda la altura, m/s.

A_L : Área de la proyección longitudinal del buque expuesta a la acción del viento, m².

A_T : Área de la proyección transversal del buque expuesta a la acción del viento, m².

A falta de valores conocidos dichas áreas podrán aproximarse mediante las expresiones siguientes:

$$A_T = B \cdot (G + h_T) \quad (3-12)$$

$$A_L = L_{PP} \cdot (G + h_L) \quad (3-13)$$

Donde:

B : Manga del buque, m.

G : Francobordo del buque, m.

L_{PP} : Eslora entre perpendiculares, m.

h_L : Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta proyectada sobre un plano longitudinal, m.

h_T : Altura media de la superficie de la superestructura del buque por encima de la cubierta proyectada sobre un plano transversal, m.

Tabla 3.8.3-1: Valores usuales de h_T y h_L según tipo de buque de proyecto

Tipo de buque	Tonelaje TPM	Alturas medias (m)		Tipo de buque	Tonelaje TPM	Alturas medias (m)	
		h_T	h_L			h_T	h_L
Petroleros	500.000	32.00	4.00	Transportadores de gases licuados	60.000 50.000 30.000 20.000 10.000 5.000 3.000	15.00 14.00 13.00 11.00 9.00 7.50 7.00	4.00 4.00 4.00 4.00 4.00 6.20 5.00
	400.000	29.00	3.80				
	300.000	25.00	3.70				
	275.000	24.00	3.70				
	250.000	23.00	3.60				
	225.000	22.00	3.50				
	200.000	21.00	3.40				
	175.000	20.00	3.30				
	150.000	19.00	3.20				
	125.000	17.50	3.10				
	100.000	16.50	3.00				
	80.000	15.00	2.90				
	70.000	14.50	2.80				
	60.000	14.00	2.70				
Transportadores de productos petrolíferos y químicos				Mercantes de carga general			
	50.000	13.00	2.60		40.000	17.00	5.00
	40.000	12.00	2.40		35.000	16.50	5.00
	30.000	11.00	2.20		30.000	16.00	5.00
	20.000	10.00	2.00		25.000	15.00	5.00
	10.000	9.00	2.00		20.000	14.00	5.00
	5.000	8.50	2.00		15.000	13.00	5.00
	3.000	8.00	2.00		10.000	11.50	5.00
					5.000	8.50	5.00
					2.500	7.50	5.00
Graneleros y polivalentes				Portacontenedores y ro-ro			
	400.000	29.00	5.00		70.000	22.50	12.00
	350.000	27.00	5.00		65.000	21.00	11.00
	300.000	25.00	5.00		60.000	20.00	10.50
	250.000	23.00	5.00		55.000	19.00	10.00
	200.000	21.00	5.00		50.000	18.00	9.00
	150.000	19.00	5.00		45.000	17.00	8.50
	125.000	18.00	5.00		40.000	18.00	8.50
	100.000	16.50	5.00		35.000	16.00	8.50
	80.000	15.50	5.00		30.000	13.50	8.50
	60.000	14.00	5.00		25.000	12.00	8.50
	40.000	12.00	5.00		20.000	10.50	8.00
	20.000	10.00	5.00		15.000	9.00	7.50
	10.000	9.00	5.00		10.000	8.00	7.50
Metaneros				Transportadores de coches			
	60.000	19.00	10.00		30.000	13.00	5.00
	40.000	14.00	8.00		25.000	12.00	5.00
	20.000	12.00	6.00		20.000	10.50	5.00
					15.000	9.00	5.00

Tipo de buque	Tonelaje GT	Alturas medias (m)		Tipo de buque	Tonelaje GT	Alturas medias (m)			
		h_T	h_L			h_T	h_L		
Transbordadores y ferries convencionales				Pesqueros	3.000	9.00	5.00		
	50.000	22.00	18.00		2.500	8.00	5.00		
	40.000	21.00	17.00		2.000	7.50	5.00		
	35.000	20.00	16.00		1.500	7.20	5.00		
	30.000	19.00	15.50		1.200	7.00	5.00		
	25.000	18.50	15.00		1.000	6.80	5.00		
	20.000	18.00	14.50		700	6.20	5.00		
	15.000	17.50	14.00		500	5.90	5.00		
					250	5.60	5.00		
Tipo de buque	Tonelaje GT	Alturas medias (m)		Tipo de buque	Desplazamiento (t)	Alturas medias (m)			
		h_T	h_L			h_T	h_L		
Transbordadores rápidos fast ferries (valores provisionales)				Embarcaciones deportivas	50.0	5.50	4.00		
	Tipo catamarán	4.000	13.5		11.9	A motor	35.0	5.00	3.50
		5.000	14.6		12.4		27.0	4.40	3.00
		6.000	15.2		12.9		16.5	4.00	2.80
	Tipo monocasco	8.000	15.4		13.0		6.5	3.40	2.40
		10.000	16.9		14.6		4.0	2.70	2.00
		15.000	20.8		18.4		1.3	2.10	1.50
		20.000	24.6		22.3	A vela	60.0	4.60	5.50
	Cruceros de pasaje						40.0	4.30	5.00
80.000		23.00	21.00	20.0	4.00		4.80		
70.000		21.00	18.00	13.0	3.70		4.50		
60.000		19.50	16.50	10.0	3.40		4.20		
50.000		18.00	15.00	3.5	3.00	4.00			
40.000	17.00	14.00	1.5	2.70	3.00				
35.000	16.00	13.00							

Fuente: Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM 3.1-99)

Donde:

e_v : Excentricidad de la fuerza resultante del viento con respecto al CG del buque medida a lo largo del plano de crujía.

L : Eslora total del buque, m.

K_{ev} : Coeficiente de excentricidad (adimensional) los valores del coeficiente de excentricidad podrán aproximarse a partir de la Tabla 3.8.3-2.

Tabla 3.8.3-2: Coeficientes de excentricidad

BUQUES CON SUPERESTRUCTURA CENTRADA		
α_{vr} (en °.)	K_{ev}	
	En lastre	A plena carga
0	0	0
30	0,15	0,10
60	0,05	0,03
90	-0,02	0,02
120	-0,10	0,10
150	-0,20	0,10
180	0	0

BUQUES CON SUPERESTRUCTURA A PROA		
α_{vr} (en °.)	K_{ev}	
	En lastre	A plena carga
0	0	0
30	0,33	0,37
60	0,18	0,27
90	-0,04	0,16
120	-0,05	0,12
150	-0,16	0,10
180	0	0

BUQUES CON SUPERESTRUCTURA A POPA		
α_{vr} (en °.)	K_{ev}	
	En lastre	A plena carga
0	0	0
30	0,16	-0,10
60	0,05	-0,12
90	-0,04	-0,16
120	-0,18	-0,27
150	-0,33	-0,37
180	0	0

Fuente: Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM 3.1-99)

3.8.3.3 CORRIENTE

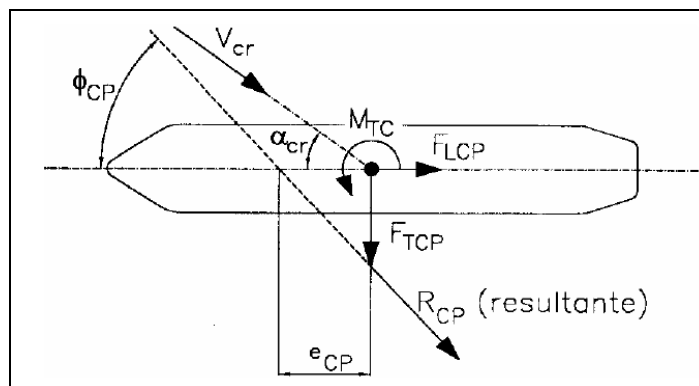
La actuación de corrientes sobre un buque podrá dar lugar a tres tipos de esfuerzos: esfuerzos de presión, esfuerzos de rozamiento y esfuerzos inducidos por fenómenos de inestabilidad dinámica que dan lugar a oscilaciones laterales autoexcitadas (efecto “flutter”).

Los esfuerzos resultantes de presiones R_{CP} y fricciones R_{CF} (definidas más adelante) producidas por las corrientes sobre los buques podrán ser discretizados en una fuerza horizontal en el sentido longitudinal del buque, otra en el sentido transversal, y un momento de eje vertical, todos ellos aplicados en el centro de gravedad del buque. Estos podrán ser calculados utilizando las ecuaciones de los puntos 3.8.3.4 y 3.8.3.5. Es importante considerar que el cálculo deberá efectuarse para la corriente aparente o relativa.

Los esfuerzos inducidos por el efecto “flutter” son de difícil formulación matemática, haciendo imprescindible su determinación mediante ensayos en modelo o mediciones sobre prototipo. Este efecto es importante únicamente en casos particulares referidos a buques amarrados, por lo que no se tomarán en cuenta a efectos de áreas de navegación y flotación.

3.8.3.4 ESFUERZOS DE PRESIÓN

Figura 3.8.3-2: Esfuerzos resultantes de las presiones de la corriente sobre los buques



Fuente: Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM 3.1-99)

Las ecuaciones generales que gobiernan el arrastre producido por las corrientes son:

$$R_{CP} = \frac{w}{2g} \cdot V_{cr}^2 \cdot \frac{C_{TC} \cdot A_{TC} \cdot \cos^2(\alpha_{cr}) + C_{LC} \cdot A_{LC} \cdot \sin^2(\alpha_{cr})}{\cos(\alpha_{CP} - \alpha_{cr})} \quad (3-14)$$

$$\tan(\alpha_{CP}) = \frac{A_{LC}}{A_{TC}} \cdot \tan(\alpha_{cr}) \quad (3-15)$$

$$F_{TCP} = R_{CP} \cdot \sin(\alpha_{CP}) \quad (3-16)$$

$$F_{LCP} = R_{CP} \cdot \cos(\alpha_{CP}) \quad (3-17)$$

$$M_{TCP} = F_{TCP} \cdot e_{CP} = F_{TCP} \cdot K_{ec} \cdot L \quad (3-18)$$

Donde:

R_{CP} : Fuerza horizontal de la acción de las presiones de la corriente sobre el buque, t.

α_{CP} : Ángulo formado entre el eje longitudinal del buque, considerado de popa a proa, y la dirección de la resultante, °.

F_{LCP} : Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante, t.

F_{TCP} : Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante, t.

M_{TCP} : Momento resultante aplicado sobre un eje vertical que pasa por el centro de gravedad del buque, tm.

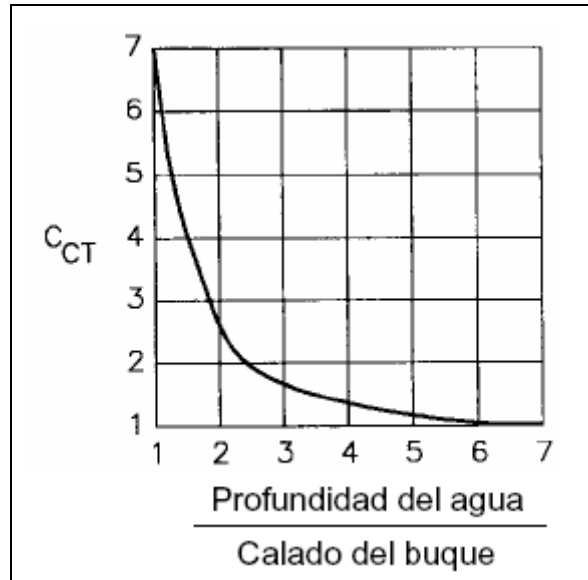
α_{cr} : Ángulo entre el eje longitudinal de la nave considerado de proa a popa y la dirección de actuación de las corrientes, °.

V_{cr} : Velocidad relativa de la corriente referida al buque. Para su determinación se calculará la resultante del vector de velocidad absoluta de la corriente, correspondiente a una profundidad del 50% del calado del buque, con un vector de velocidad absoluta del barco, m/s.

C_{CT} : Factor de forma para el cálculo de las presiones de la corriente sobre el buque, actuando en la dirección de su eje transversal, adimensional. Depende de la

relación Profundidad del agua/ Calado del buque de diseño, incrementándose a medida que los valores de dicha relación se aproximan a 1. Puede variar entre 1 para aguas profundas y 6 para relaciones profundidad de agua/calado = 1.

Figura 3.8.3-3: Factor de forma para el cálculo de presiones sobre un buque



Fuente: Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM 3.1-99)

- C_{CL} : Factor de forma para el cálculo de la resultante de las presiones de la corriente sobre el buque, actuando en la dirección de su eje longitudinal (adimensional). Depende fundamentalmente de la geometría de la proa del buque. Se puede considerar el valor 0,6 para proa convencional o 0,2 para proa de bulbo.
- A_{LC} : Área longitudinal sumergida del buque sometido a la acción de la corriente, m². Se puede aproximar como: $A_{LC} = L_{PP} \cdot D$.
- A_{TC} : Área transversal sumergida del buque sometido a la acción de la corriente, m². Se puede aproximar como: $(A_{TC} = B \cdot D)$.
- L_{PP} : Eslora entre perpendiculares del buque, m.
- D : Calado del buque, m.

- B** : Manga del buque, m.
- e_{cp} : Excentricidad de la fuerza resultante de las presiones de la corriente sobre el buque con respecto a su centro de gravedad medida a lo largo del plano de crujía.
- K_{ec} : Coeficiente de excentricidad (adimensional). A falta de valores específicos el coeficiente de excentricidad podrá aproximarse a partir de la Tabla 3.8.3-3.

Tabla 3.8.3-3: Coeficiente de excentricidad

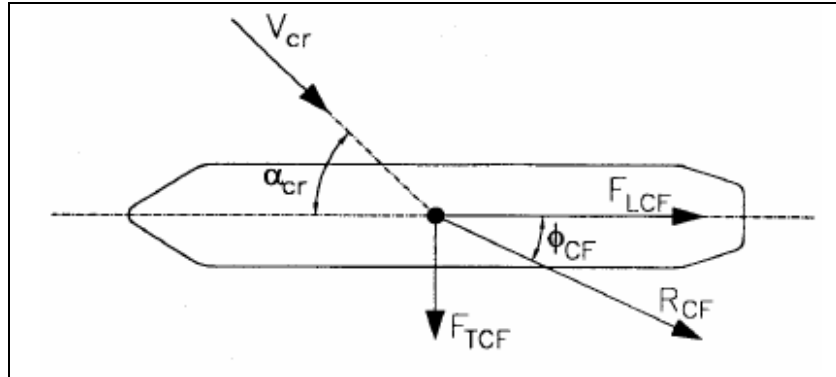
α_{cr}	K_{ec}
0	0
30	0,17
60	0,09
90	0
1.210	-0,09
150	-0,17
180	0

Donde el ángulo α_{cr} es definido en la Figura 3.8.3-2.

Fuente: Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM 3.1-99)

3.8.3.5 ESFUERZOS DE FRICCIÓN

Figura 3.8.3-4: Esfuerzos resultantes por fuerzas de fricción de la corriente en los buques



Fuente: Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM 3.1-99)

Las ecuaciones generales que gobiernan la fricción producida por las corrientes son:

$$F_{TCF} = \frac{w}{2g} \cdot C_R \cdot V_{cr}^2 \cdot A_{TCF} \cdot \sin^2(\alpha_{cr}) \quad (3-19)$$

$$F_{LCF} = \frac{w}{2g} \cdot C_R \cdot V_{cr}^2 \cdot A_{LCF} \cos^2(\alpha_{cr}) \quad (3-20)$$

$$\tan(\phi_{CF}) = \frac{A_{TCF}}{A_{LCF}} \cdot \tan^2(\alpha_{cr}) \quad (3-21)$$

$$A_{TCF} = (L_{pp} + 2D) \cdot B \quad (3-22)$$

$$A_{LCF} = (2D + B) \cdot L_{pp} \quad (3-23)$$

Donde

R_{CF} : Fuerza resultante horizontal de la acción de la fricción de la corriente sobre el buque, t.

- C_F : Ángulo formado sobre el eje longitudinal del buque, considerado de popa a proa, y la dirección de la resultante de fricción de la corriente, °.
- F_{LCF} : Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante debida a la fricción, t.
- F_{TCF} : Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante debida a la fricción, t.
- C_R : Coeficiente de rozamiento (adimensional). Podrá adoptarse como 0,004 para buques en servicio y 0,001 para buques nuevos.
- A_{TCF} : Área de la superficie del buque mojada transversalmente a la dirección de crujías, m. A falta de valores conocidos, se podrá aproximar mediante la expresión descrita.
- A_{LCF} : Área de la superficie del buque mojada longitudinalmente a la dirección de crujías, m. A falta de valores conocidos, se podrá aproximar mediante la expresión descrita.

w , g , α_{cr} , V_{cr} , L_{PP} , B y D han sido definidos anteriormente

3.8.3.6 OLEAJE

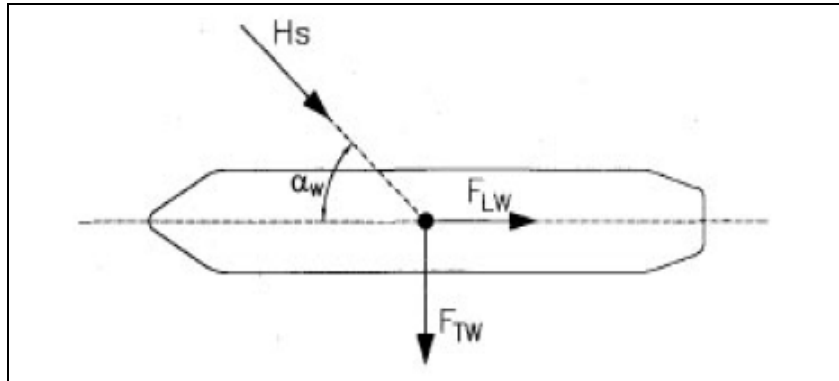
La complejidad en la cuantificación analítica de los esfuerzos producidos por el oleaje sobre un buque es muy grande debido a su dependencia de muchas variables, entre otras:

- Características del oleaje incidente: tipo de ola (progresiva o estacionaria), altura, periodo y dirección.
- Características del buque: tipología, desplazamiento, dimensiones, espacio libre bajo la quilla, etc.
- Tipo de movimiento del buque.

No obstante, en primera aproximación y a falta de estudios más específicos como análisis en modelo o mediciones sobre prototipo, podrá adoptarse la formulación presentada a continuación, la cual surge al considerar los esfuerzos de oleajes como la resultante de

las presiones del fluido sobre el casco del buque producidas por un oleaje regular incidente. Esta resultante podrá descomponerse en una fuerza horizontal en el sentido longitudinal del buque y otra en el sentido transversal, suponiendo una primera aproximación que la resultante pasa por el centro de gravedad del buque.

Figura 3.8.3-5: Esfuerzos resultantes de las fuerzas por el oleaje sobre los buques.



Fuente: Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM 3.1-99)

Las ecuaciones generales que gobiernan el arrastre producido por el oleaje para el caso del buque detenido son:

$$F_{TCF} = \frac{w}{2g} \cdot C_R \cdot V_{cr}^2 \cdot A_{TCF} \cdot \sin^2(\alpha_w) \quad (3-24)$$

$$F_{TW} = C_{fw} \cdot C_{dw} \cdot w \cdot H_s^2 \cdot L_{proy} \cdot \sin(\alpha_w) \quad (3-25)$$

$$F_{LW} = C_{fw} \cdot C_{dw} \cdot w \cdot H_s^2 \cdot L_{proy} \cdot \cos(\alpha_w) \quad (3-26)$$

Donde

F_{LW} : Componente en el sentido longitudinal del buque de la fuerza resultante, t.

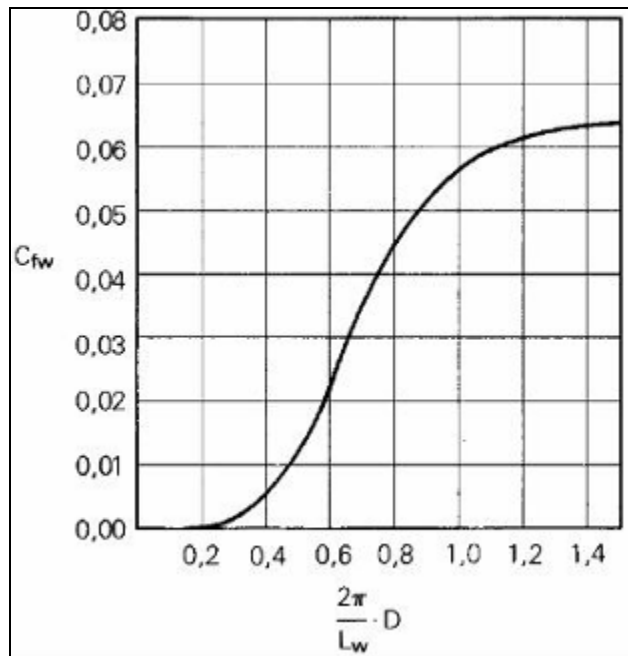
F_{TW} : Componente en el sentido transversal del buque de la fuerza resultante, t.

α_w : Ángulo entre el eje longitudinal de la nave considerado de proa a popa y la dirección de incidencia de las olas, °.

C_{fw} : Coeficiente de flotación, adimensional.

Se adoptará como valor de C_{fw} el entregado en la tabla siguiente en función de la longitud de la ola a la profundidad del emplazamiento L_w y del calado del buque D .

Figura 3.8.3-6: Coeficiente de flotación adimensional



Fuente: Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM 3.1-99)

Donde:

C_{dw} : Coeficiente de profundidad (adimensional). Los valores de dicho coeficiente serán obtenidos a partir de la tabla siguiente, en función de la longitud de la ola a la profundidad del emplazamiento L_w y de la profundidad de agua existente en el emplazamiento h .

L_{proy} : Longitud de la proyección del buque en la dirección del oleaje incidente, m. Podrá aproximarse mediante la expresión siguiente:

$$L_{proy} = L_{PP} \cdot \text{sen}(\alpha_{w1}) + B \cdot \cos(\alpha_{w1}) \quad (3-27)$$

Donde:

B : Manga del buque, m.

α_{w1} : Dirección del oleaje incidente, °.

H_s : Altura de la ola significativa de proyecto para la dirección determinada y a la profundidad de emplazamiento h , m.

h : Profundidad de agua existente en el emplazamiento, m.

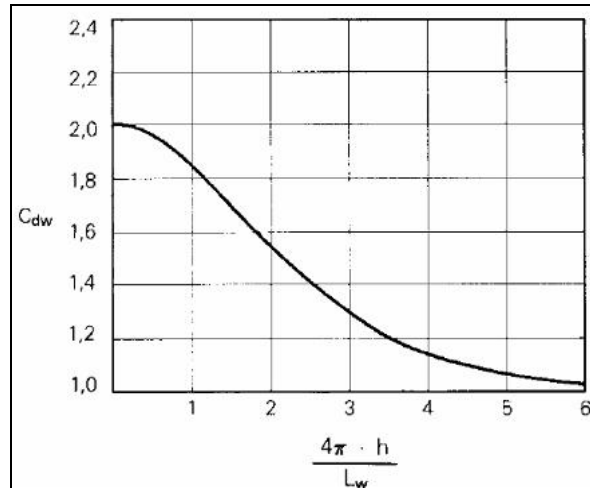
L_w : Longitud de ola a la profundidad del emplazamiento, m. Se podrá calcular con la siguiente expresión:

$$L_w = \frac{g \cdot T^2}{2} \tanh\left(\frac{4 \cdot h}{g \cdot T^2}\right) \quad (3-28)$$

Donde:

T : Período del oleaje

Figura 3.8.3-7: Coeficiente de profundidad



Fuente: Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM 3.1-99)

3.8.3.7 DEFORMACIÓN

Las cargas de deformación son aquellas acciones directas o indirectas originadas por fenómenos capaces de generar esfuerzos internos en los elementos estructurales, al imponer deformaciones a la estructura resistente.

Podrán diferenciarse en:

- Cargas de pretensado
- Cargas geológicas
- Cargas por movimientos impuestos

Los esfuerzos producidos por deformaciones impuestas se determinarán para cada fase del proyecto e hipótesis de trabajos.

3.8.4 FUERZA DEBIDA AL PORTALÓN DEL BUQUE

Corresponde a la carga transmitida por los portalones de las embarcaciones tipo ro-ro, ro-pax, con-ro, ferries y transportadores de coches, al apoyarse sobre la estructura de atraque, particularmente sobre rampas, cuando se realizan operaciones de carga y descarga.

Esta acción depende, fundamentalmente, del tamaño y peso del portalón del buque, así como del tipo y características de la carga a manipular, de los elementos de transporte y de los medios de manipulación de carga utilizados.

En general, la carga debido a los portalones podrá ser descompuesta en:

- Fuerza vertical lineal, contenida en el plano perpendicular al eje del portalón del buque en la zona de contacto entre el portalón del buque y la obra de atraque.
- Fuerza horizontal lineal debida al rozamiento que se produce entre la obra de atraque y el portalón del buque, debida a los movimientos del buque atracado, la cual se considera aplicada en la superficie de contacto. Dada la pendiente máxima recomendada para la zona reservada para el apoyo del portalón del buque en rampas (12,5%), simplificada puede tomarse en consideración únicamente la componente horizontal de dicha fuerza. Esta fuerza de rozamiento se considerará de actuación simultánea con la fuerza vertical lineal y dependiente de la misma. Su dirección y sentido de actuación pueden ser cualquiera en el plano de actuación.

En el cálculo de la carga vertical, producto del portalón sobre la estructura, se considerará el peso propio del portalón y de las sobrecargas vivas correspondientes (peatones, vehículos de transporte, manipulación de carga, etc.), actuando simultáneamente, considerando las diferentes posiciones en las que estas sobrecargas pueden actuar en el portalón del buque.

La reacción máxima que transmite el portalón a la estructura se determinará considerando un sistema de viga bi-apoyada con un extremo en la estructura de atraque y el otro extremo en la embarcación. Esta reacción se considerará en la posición más desfavorable que ésta puede ocupar sobre la estructura de atraque.

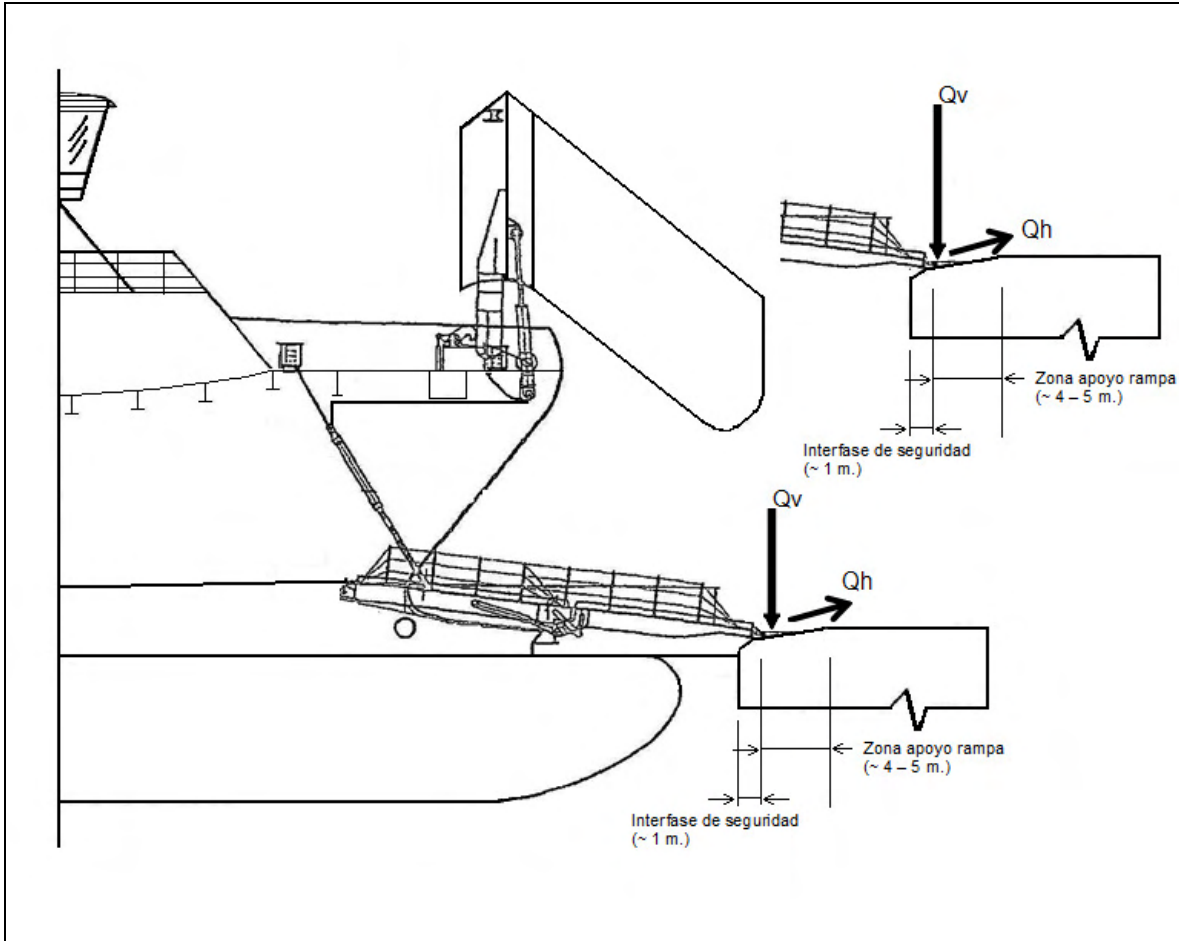
En condiciones de trabajo normal, correspondientes a las operaciones de carga y descarga, la carga debida al portalón de la embarcación actúa sobre la totalidad del ancho

de dicho portalón de forma uniforme. Independiente de lo anterior, se deberá considerar, como condición de trabajo excepcional, la posibilidad de que esta carga sea trapezoidal, triangular o se distribuya en parte del ancho del mismo, incluso llegando en el límite a ser una carga puntual, en razón de la capacidad de torsión del portalón y los movimientos del buque.

La carga horizontal lineal, debido a los portalones, actúa simultáneamente con la carga vertical y esta correlacionada con el valor adoptado para esta última, a través del coeficiente de rozamiento, entre el portalón de la embarcación y la estructura de atraque en la zona de contacto.

Este coeficiente de rozamiento se considera de carácter permanente y se define a través de un valor nominal. A falta de información más detallada, puede adoptarse de forma general 0,3 como valor nominal de dicho parámetro.

Figura 3.8.4-1: Definición de las acciones por rampas o portales del buque



Fuente: ROM 2.0-11 Capítulo 4

3.9 VARIACIÓN DE TEMPERATURA

Los esfuerzos originados por la expansión o contracción térmica de la estructura o por gradientes de temperatura en la estructura, deberá ser considerada en el diseño, tomando en cuenta el clima local del lugar de emplazamiento de la estructura.

En el caso de no contar con esa información, y siempre que la estructura no se encuentre sometida a gradientes de temperatura extremos, se podrán considerar, como rango mínimo, esfuerzos en los elementos estructurales debidos a una variación de 15 °C a 20 °C de temperatura, aplicada como incremento o descenso uniforme.

Se podrán utilizarán los siguientes coeficientes de dilatación térmica:

Acero : 0,000012 [1/°C]

Hormigón : 0,000011 [1/°C]

Se podrá prescindir del cálculo de esfuerzos térmicos cuando se dispongan juntas de dilatación separadas como máximo por los siguientes valores:

Estructuras de Hormigón Armado : 40 m

Estructuras de Acero sujetas a un amplio rango de temperaturas : 120 m

Estructuras de Acero no sujetas a un amplio rango de temperaturas : 150 m

3.10 VIENTO

El cálculo de las acciones de viento sobre las diversas estructuras se hará de acuerdo con la Norma Chilena NCh432.Of2010.

3.11 NIEVE

El cálculo de las sobrecargas de nieve sobre las diversas estructuras se hará de acuerdo con la Norma Chilena NCh431.Of2010.

3.12 HIELO

En la etapa de planificación es importante determinar si existe presencia de hielo y si dicha presencia afecta negativamente la funcionalidad del proyecto. Durante el diseño se deberá considerar el efecto de las cargas de hielo e impacto de bloques de hielo sobre elementos de estructura costera. Los esfuerzos generados por las cargas de hielo se definirán de acuerdo a las recomendaciones del Coastal Engineering Manual.

3.12.1 FUERZA DE HIELO HORIZONTAL

3.12.1.1 FUERZA DE HIELO SÓLIDO

La acción del viento y corrientes sobre grandes bloques de hielo flotantes generan presiones sobre el bloque de hielo y contra la estructura en la zona de contacto. El cálculo de dicha fuerza puede realizarse de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$F_d = C_{sf} \cdot \rho \cdot A \cdot (u - u_i)^2 \quad (3-29)$$

Donde:

C_{sf} : Coeficiente de fricción entre el viento y el hielo o agua y el hielo

ρ : Densidad del fluido, ya sea agua o aire, kg/m^3

A : Área horizontal de la capa de hielo

u : Velocidad del fluido (10 m sobre el hielo para aire y 1 m bajo el hielo para agua)

u_i : Velocidad del hielo en la dirección de u

Tabla 3.12.1-1: Coeficiente de fricción

	Hielo suave	Hielo áspero
Viento	0,001 – 0,002	0,002 – 0,003
Agua	0,002 – 0,004	0,005 – 0,008

Fuente: Coastal Engineering Manual (Table VI-5-89)

Una vez que el bloque de hielo se apoya contra la estructura, se puede calcular la fuerza de arrastre total. La superficie intacta del hielo se debe considerar como un cuerpo sólido, con cargas distribuidas entre los puntos de contacto de la estructura – hielo. Sin embargo, si el bloque está en contacto en unos pocos puntos discretos, la presión de contacto puede ser muy grande. En estos casos, la fuerza calculada debido al arrastre puede superar la fuerza necesaria para triturar el bloque de hielo, en cuyo caso la fuerza local de trituración se convierte en la fuerza aplicada a la estructura.

3.12.1.2 FUERZA LOCALIZADA DE TRITURACIÓN

Una expresión teórica para calcular la fuerza horizontal de trituración es la siguiente:

$$\frac{F_c}{b \cdot h} = C \cdot m \cdot \sigma_c \quad (3-30)$$

Donde:

- F_c : Fuerza horizontal de trituración
- b : Diámetro o ancho horizontal de la estructura
- h : Espesor de la capa de hielo
- m : Coeficiente de forma (1 para superficie plana, 0,9 para pilotes circulares y 0,85 [sin(β/2)]² para estructuras en forma de cuña, donde β es la cuña)
- σ_c : Resistencia a la rotura del hielo a compresión por trituración
- C : Coeficiente, definido por las siguientes ecuaciones:

$$C = \left(5 \cdot \frac{h_i}{b} + 1 \right)^{1/2} \quad \text{para } 1 < \frac{b}{h_i}$$

$$C = 4,17 - 1,72 \left(\frac{b}{h_i} \right) \quad \text{para } 0,1 < \frac{b}{h_i} < 1$$
(3-31)

Tabla 3.12.1-2: Valores de σ_c

Table VI-5-90 Values of Effective Ice Crushing Strength, σ_c	
Ice Crushing Stress	Environmental Situation
0.7 MPa (100 psi)	Ice breakup occurs at melting temperatures and the ice moves in small pieces that are essentially disintegrated.
1.4 MPa (200 psi)	Ice breakup occurs at melting temperatures, but the ice moves in large pieces that are generally sound.
2.1 MPa (300 psi)	Ice breakup consists of an initial movement of the entire ice sheet or large sheets of sound ice impact piers.
2.8 MPa (400 psi)	Ice breakup occurs with an ice temperature significantly below the melting point and ice movement consists of large sheets.

Fuente: Coastal Engineering Manual (Table VI-5-90)

Esta fórmula aplica a estructuras de pilotes y muelles más que a muros largos verticales. Para puentes y muelles grandes se puede suponer $C \cdot m = 1$.

3.12.1.3 FUERZA TÉRMICA DEL HIELO

Dada la complejidad de calcular la fuerza térmica del hielo, es que se puede adoptar la siguiente regla de diseño:

- Presas y estructuras rígidas : 145 a 220 kN/m
- Estructuras móviles : 73 kN/m

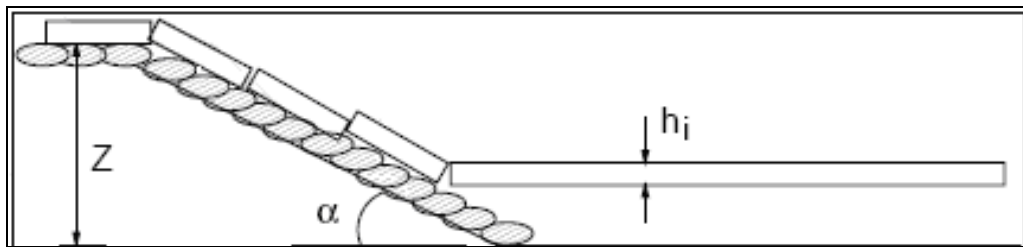
Estos valores se basan en mediciones en terreno.

La expansión térmica de agua congelada entre elementos de una estructura costera puede generar la dislocación de los elementos individuales o agrietamiento.

3.12.2 FUERZA DE HIELO EN LADERAS

Cuando un hielo con movimiento horizontal entra en contacto con una estructura con pendiente, una componente de la fuerza horizontal empuja el bloque de hielo hacia arriba de la pendiente. Esta acción induce a una falla por flexión en la capa de hielo.

Figura 3.12.2-1: Hielo subiendo por estructura inclinada



Fuente: Coastal Engineering Manual (Figura VI-5-144)

A continuación, se entrega una ecuación simplificada de la fuerza ejercida por el bloque de hielo sobre una estructura inclinada.

$$\frac{F_h}{b} = C_1 \cdot f \cdot \left(\frac{w \cdot g \cdot h_i^5}{E} \right)^{1/4} + C_2 \cdot Z \cdot i \cdot g \cdot h_i \quad (3-32)$$

Donde:

$$C_1 = 0,68 \cdot \left[\frac{\text{sen } \alpha + \mu \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \cdot \text{sen } \alpha} \right] \quad (3-33)$$

$$C_2 = \left[\frac{(\text{sen } \alpha + \mu \cdot \cos \alpha)^2}{\cos \alpha - \mu \cdot \text{sen } \alpha} + \frac{\text{sen } \alpha + \mu \cdot \cos \alpha}{\tan \alpha} \right] \quad (3-34)$$

Donde:

- F_h : Fuerza horizontal total
- σ_f : Resistencia a flexión del hielo (0,5 a 1,5 MPa)
- ρ_i : Densidad del hielo
- ρ_w : Densidad del agua
- E : Modulo de elasticidad del hielo (1.000 a 6.000 MPa)
- Z : Máxima distancia vertical a subir por el hielo
- g : Aceleración de gravedad
- α : Ángulo de inclinación
- μ : Factor de fricción de la estructura inclinada (0,1 para inclinación suave y 0,5 para rocas colocadas en zonas al azar o inclinaciones pronunciadas)

Para una estimación aproximada rápida se puede utilizar la siguiente ecuación simplificada:

$$\frac{F_c}{b} = K_h \cdot h_i \cdot \sigma_c \quad (3-35)$$

Donde:

$$K_h = 1 - 0,654f^{0,38} \quad (3-36)$$
$$f = \frac{1 - \mu \cdot \tan \alpha}{\mu + \tan \alpha}$$

El σ_c corresponde a la resistencia del hielo entregada en la Tabla 3.12.1-2.

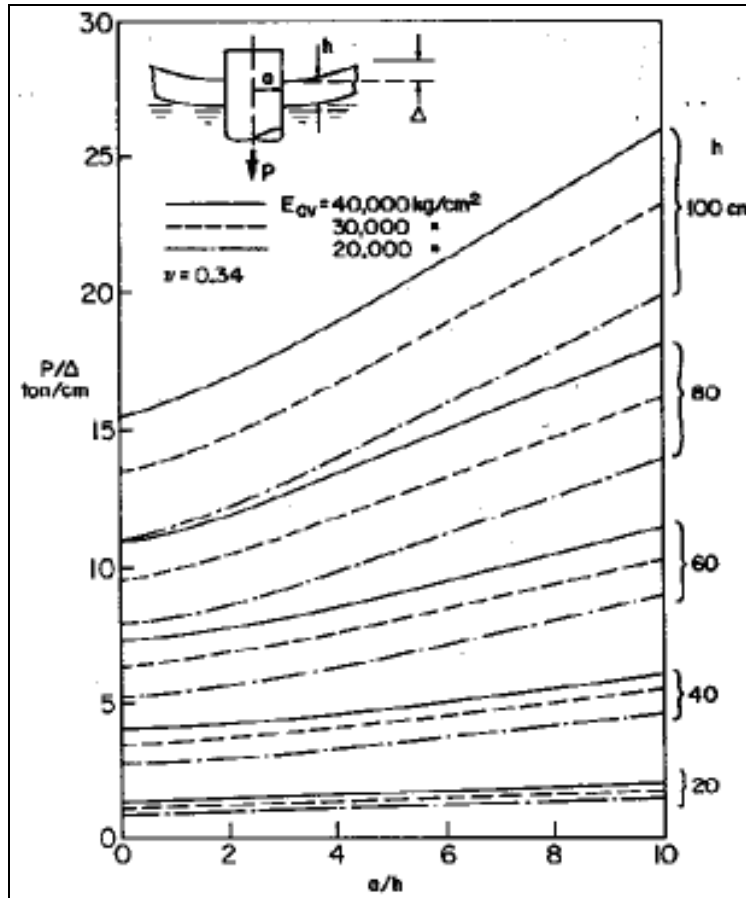
Cuando el hielo que está en contacto con una estructura costera se estaciona durante un tiempo suficiente, éste se congela a la estructura o sus elementos. Si el hielo se desplaza horizontal o verticalmente, se generan cargas. Esta situación es más común en lagos, donde la variación del nivel del agua es baja. Se dispone de escasa documentación para calcular estas tensiones (por ejemplo, PIANC). Las fuerzas generadas pueden desprender piedras individuales que forman la armadura de la estructura, para evitar esto se deben escoger piedras de escollera con diámetro medio (d_{50}) mayor al espesor máximo de hielo esperado por temporada.

3.12.3 FUERZA DE HIELO VERTICAL

3.12.3.1 PILOTES CILÍNDRICOS

Kerr (1975) estudió la fuerza vertical en pilotes cilíndricos y presentó un gráfico para el cálculo de las cargas, bajo el supuesto conservador de que el cambio de nivel del agua es lo suficientemente rápido como para asegurar el comportamiento elástico del hielo antes de fallar. Asume que la capa de hielo no falla en corte o flexión antes de que se alcance la carga máxima en el pilote.

Figura 3.12.3-1: Fuerza vertical en pilotes cilíndricos (Kerr 1975)



Fuente: Coastal Engineering Manual (Figure VI-5-145)

Donde:

P : Fuerza vertical, t

a : Radio del pilote, cm

h : Espesor de la capa de hielo, cm

E_{cv} : Módulo de Elasticidad promedio para hielo, k/cm^2

Δ : Aumento del nivel de agua hasta el espesor del hielo, cm

ν : Razón de Poisson.

3.12.3.2 MUROS VERTICALES

La siguiente ecuación para calcular la carga vertical por unidad de longitud horizontal causada por el movimiento vertical de las capas de hielo congelado en las paredes del muro se obtuvo del PIANC (1992).

$$\frac{F_v}{b} = \rho_w \cdot g \cdot \Delta h \cdot L_c \quad (3-37)$$

Donde:

$$L_c = \left[\frac{E \cdot h_i^3}{12 \cdot \rho_w \cdot g (1 - \nu^2)} \right]^{1/4} \quad (3-38)$$

F_v : Fuerza vertical total actuando sobre el muro

b : Longitud horizontal del muro

Δh : Cambio del nivel del agua

ρ_w : Densidad del agua

g : Aceleración de gravedad

E : Modulo de elasticidad del hielo

h_i : Espesor del hielo

ν : Razón de Poisson (0,31 – 0,35)

3.12.3.3 ESTRUCTURAS INCLINADAS

La carga vertical adicional, causada por el transporte y acumulación de hielo en estructuras inclinadas, debe ser evaluada para las condiciones locales y el tipo específico de estructura.

3.13 OLEAJE

Las acciones debidas al oleaje se definen en el Capítulo 2 de este Volumen, sección 2.5.2.1.5 “Fuerzas Generadas por el Oleaje”.

3.14 CORRIENTES

3.14.1 GENERAL

La velocidad de la corriente deberá ser el valor máximo esperado en el sitio durante la vida de diseño de la estructura.

3.14.2 CARGAS HIDRÁULICAS DEBIDO A LAS CORRIENTES

3.14.2.1 GENERAL

La fuerza hidráulica, debido a corrientes que actúan en miembros y estructuras en el agua o cercanas a la superficie del agua, como el caso de un muelle soportado por pilotes, una tubería submarina o de la armadura de un rompeolas, es proporcional al cuadrado de la velocidad del flujo. Esta fuerza puede ser dividida en una fuerza de arrastre, actuando en la dirección de la corriente, y una fuerza de levantamiento, actuando en una dirección perpendicular a la corriente. Generalmente, las fuerzas de arrastre y levantamiento son calculadas utilizando las ecuaciones presentadas a continuación. Es necesario tener presente que un objeto delgado y tubular presente en el agua puede estar sujeto a vibraciones causadas por vórtices inducidos.

Las fuerzas debido a corrientes, son principalmente constantes y la componente oscilatoria es sólo significativa cuando su frecuencia se aproxima al periodo natural de la estructura.

3.14.2.2 FUERZA DE ARRASTRE

Para miembros estructurales prismáticos y uniformes, inmersos en una corriente uniforme, la fuerza de arrastre constante la cual actúa en el centroide del área normal al flujo, puede ser calculada mediante la siguiente expresión:

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot A_P \cdot U^2 \quad (3-39)$$

Donde

F_D : Fuerza de arrastre actuando en el objeto en dirección de la corriente, kN

C_D : Coeficiente del arrastre.

ρ_w : Densidad del agua, t/ m³

A_P : Área proyectada del objeto en la dirección de la corriente, m²

U : Velocidad de flujo, m/s

La Figura 2.5.2-33 (del capítulo 2.5.2.1.5) presenta sugerencias para los coeficientes de arrastre (C_D). Existen otras recomendaciones que pueden ser apropiadas de acuerdo al caso y las restricciones propuestas por cada autor.

3.14.2.3 FUERZA DE LEVANTAMIENTO

La fuerza de levantamiento puede ser calculada mediante la siguiente expresión:

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot C_L \cdot \rho_w \cdot A_{\perp} \cdot U^2 \quad (3-40)$$

Donde

F_L : Fuerza de levantamiento actuando en el objeto en dirección perpendicular a la corriente, kN

C_L : Coeficiente de levantamiento.

ρ_w : Densidad del agua, t/ m³

A_{\perp} : Área proyectada del objeto en la dirección perpendicular a la corriente, m²

U : Velocidad de flujo, m/s

El coeficiente de levantamiento (C_L), al igual que el coeficiente de arrastre, depende de la forma del objeto, dirección de la corriente y número de Reynolds. Podrá encontrarse en el Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan (Japón).

3.15 CARGAS SÍSMICAS

3.15.1 ESTRUCTURAS EN GENERAL

Estas cargas serán consideradas como eventuales dado que presentan pequeños tiempos de aplicación a lo largo de la vida útil de la estructura. Dada la alta sismicidad de Chile, estas cargas son de suma importancia al momento de diseñar una estructura.

En la determinación de las cargas, procedimiento de análisis y diseño sísmico de estructuras marítimas, se deberá respetar lo establecido en la norma chilena NCh 2369.Of2003 junto a las consideraciones espaciales inherentes a cada tipología estructural.

Dentro de los parámetros más importantes que define la norma NCh 2369 Of2003, se puede mencionar el factor de modificación de respuesta (R) y la razón de amortiguamiento (ξ). A continuación se presentan los valores de los parámetros recién mencionados:

Tabla 3.15.1-1: Razón de amortiguamiento (ξ)

Sistema Resistente	ξ
Manto de acero soldado; chimeneas, silos, tolvas, tanques a presión, torres de proceso, cañerías, etc.	0,02
Manto de acero apernado o remachado	0,03
Marcos de acero soldado con o sin arriostamiento	0,02
Marcos de acero con uniones de terreno apernadas, con o sin arriostamiento	0,03
Estructuras de hormigón armado y albañilería	0,05
Estructuras prefabricadas de hormigón armado puramente gravitacionales	0,05
Estructuras prefabricadas de hormigón armado con uniones húmedas, no dilatadas de los elementos no estructurales e incorporados en el modelo estructural	0,05
Estructuras prefabricadas de hormigón armado con uniones húmedas dilatadas de los elementos no estructurales	0,03
Estructuras prefabricadas de hormigón armado con uniones secas dilatadas y no dilatadas con conexiones apernadas y conexiones mediante barras embebidas en el mortero de relleno	0,03
Estructuras prefabricadas de hormigón armado con uniones secas dilatadas y no dilatadas con conexiones soldadas	0,02
Otras estructuras no incluidas o asimilables a las de esta lista	0,02
NOTAS:	
1. En caso que se use un análisis con interacción suelo-estructura en que resulten valores de la razón de amortiguamiento del primer modo mayores que los indicados en esta tabla, el incremento de esta razón no podrá ser superior al 50% de los valores indicados. Los valores para los restantes modos deben ser los indicados en esta tabla.	
2. En caso de duda sobre la clasificación de un sistema resistente, debe aplicarse la disposición 4.7 de la norma NCh 2369 Of2003.	

Fuente: NCh 2369 Of.2003, Tabla 5.5

Tabla 3.15.1-2: Valores máximos del factor de modificación de la respuesta (R)

Sistema Resistente	R
1. Estructuras diseñadas para permanecer elásticas	1
2. Otras estructuras no incluidas o asimilables a las de la lista ¹⁾	2
3. Estructuras de acero	
3.1 Edificios y estructuras de marcos dúctiles de acero con elementos no estructurales dilatados	5
3.2 Edificios y estructuras de marcos dúctiles de acero con elementos no estructurales no dilatados e incorporados en el modelo estructural	3
3.3 Edificios y estructuras de marcos arriostrados, con anclajes dúctiles	5
3.4 Edificios industriales de un piso, con o sin puente grúa, y con arriostamiento continuo de techo	5
3.5 Edificios industriales de un piso, sin puente grúa, sin arriostamiento continuo de techo, que satisfacen 11.1.2 de la NCh2369 Of2003	3
3.6 Naves de acero livianas que satisfacen las condiciones de 11.2.1 de la NCh2369 Of2003	4
3.7 Estructuras de péndulo invertido ²⁾	3
3.8 Estructuras sísmicas isostáticas	3
3.9 Estructuras de plancha o manto de acero, cuyo comportamiento sísmico está controlado por el fenómeno de pandeo local	3
4. Estructuras de hormigón armado	
4.1 Edificios de estructuras de marcos dúctiles de hormigón armado con elementos no estructurales dilatados	5
4.2 Edificios estructurales de marcos dúctiles de hormigón armado con elementos no estructurales no dilatados e incorporados en el modelo estructural	3
4.3 Edificios y estructuras de hormigón armado, con muros de corte	5
4.4 Edificios industriales de un piso, con o sin puente grúa, y con arriostamiento continuo de techo	5
4.5 Edificios industriales de un piso, sin puente grúa, sin arriostamiento continuo de techo, que satisfacen 11.1.2 de la NCh2369 Of2003	3
4.6 Estructuras de péndulo invertido ²⁾	3
4.7 Estructuras sísmicas isostáticas	3
5. Estructuras de hormigón armado prefabricado	
5.1 Estructuras prefabricadas puramente gravitacionales	5
5.2 Estructuras prefabricadas con uniones húmedas, no dilatadas de los elementos no estructurales e incorporados en el modelo estructural	3
5.3 Estructuras prefabricadas con uniones húmedas, dilatadas de los elementos no estructurales	5
5.4 Estructuras prefabricadas con uniones secas, dilatadas y no dilatadas, con: Conexiones apernadas y conexiones mediante barras embebidas en mortero de relleno ³⁾	4
Conexiones soldadas ³⁾	4

Sistema Resistente	R
5.5 Estructuras prefabricadas de péndulo invertido ²⁾ o con pilares en voladizo	3
5.6 Estructuras sísmicas isostáticas	3
6. Estructuras y edificios de albañilería	
6.1 Albañilería armada de bloques con llenado total de huecos	4
6.2 Albañilería armada de bloques sin llenado total de huecos, y albañilería armada de unidades cerámicas tipo rejilla	3
6.3 Albañilería confinada	4
7. Estanques, recipientes, chimeneas, silos y tolvas	
7.1 Chimeneas, silos y tolvas con mantos continuos hasta el suelo	3
7.2 Silos, tolvas, estanques apoyados sobre columnas, con o sin arriostramiento entre columnas	4
7.3 Estanques de acero de eje vertical con manto continuo hasta el suelo	4
7.4 Estanques de hormigón armado de eje vertical con manto continuo hasta el suelo	3
7.5 Estanques y ductos de materiales sintéticos compuestos (FRP, GFRP, HDPE y similares)	3
7.6 Recipientes horizontales apoyados sobre cunas con anclajes dúctiles	4
8. Torres, tuberías y equipos	
8.1 Torres de proceso	3
8.2 Torres de enfriamiento de madera o plástico	4
8.3 Gabinetes de control eléctrico apoyados en el suelo	3
8.4 Tuberías de acero, excepto sus conexiones	5
9. Estanterías de almacenamiento	4
NOTAS:	
1) Salvo que un estudio demuestre que se puede usar un valor de <i>R</i> distinto de 2. No son asimilables a esta clasificación estructuras cuyo sistema resistente esta explícitamente citado en esta tabla.	
2) Más del 50% de las masas sobre el nivel superior. Un sólo elemento resistente.	
3) El valor <i>R</i> = 4 es un límite superior. Si el valor de <i>R</i> es menor para el sistema estructural equivalente de hormigón armado, se debe usar dicho valor menor.	
4) En caso de duda sobre la clasificación de un sistema resistente, debe aplicarse la disposición 4.7 de la NCh2369 Of2003.	

Fuente: NCh 2369 Of.2003, Tabla 5.6

3.15.2 TALUDES

En el análisis sísmico de taludes se podrán emplear las recomendaciones del compendio de la Norma Japonesa de Puertos versión 2009 o cualquier otro método que haya sido utilizado con buenos resultados en Chile, como por ejemplo el método de Makdisi y Seed.

3.15.2.1 EQUIPOS DE CARGA Y DESCARGA

Para efectos del diseño sísmico de los equipos de carga y descarga (grúas), éste deberá ser efectuado mediante un análisis dinámico en donde el modelo considerado incluya tanto las grúas como sus estructuras de soporte. El número de modos que se considerará en la determinación de la respuesta será tal que la suma de las masas equivalentes de los modos considerados, sea por lo menos igual al 95% de la masa total, con un mínimo de tres modos. El criterio de superposición de las respuestas modales será el indicado en la Norma Chilena NCh 2369 u otro equivalente.

3.15.2.2 MASA SÍSMICA PILOTES

Para el cálculo de la masa sísmica de los pilotes del muelle deberá considerarse la masa del agua contenida dentro de éstos y la longitud del pilote desde el lecho marino hasta el coronamiento de la viga.

3.15.3 ESTRUCTURAS AISLADAS

El diseño de estructuras que incorporen dispositivos de aislación basal deberán seguir las recomendaciones entregadas en la NCh 2745-2003.

3.16 CARGAS ESPECIALES

3.16.1 PRUEBAS DE CARGA

Las pruebas de carga son sobrecargas originadas por las pruebas y ensayos previstos en la legislación vigente aplicable a cada instalación, o por aquellos específicamente intuidos en el proyecto.

3.16.2 INUNDACIONES DEBIDAS A ROTURAS DE CANALIZACIONES O DEPÓSITOS

En estructuras de contención de tierra, se debe considerar la posibilidad de que el nivel freático en el relleno se eleve en forma excepcional, producto de inundaciones de la orilla, rotura de tuberías o conducciones de líquidos, entre otros supuestos similares.

3.16.3 FALLAS DEL SISTEMA DE DRENAJE O DE CONTROL DE SUBPRESIONES

En casos en que se considere para la valoración de cargas hidráulicas y del terreno la posible reducción de niveles piezométricos, debido al establecimiento de sistemas de drenaje o control de subpresiones, se deben adoptar como cargas accidentales los empujes adicionales debido a la falla de dichos sistemas que impida su actuación en un plazo de 48 horas.

3.16.4 ELEVACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO DE PROYECTO EN LASTRES

Se consideran como cargas accidentales los empujes hidráulicos y del terreno adicional, debido a la elevación de dichos niveles hasta la parte superior del compartimiento o hasta el nivel más bajo a partir del cual el flujo puede rebosar libremente. Estas consideraciones deben realizarse independiente de las tolerancias admitidas en el proyecto, relacionadas con los niveles freáticos teóricos en el interior de estructuras de contención de lastres.

3.16.5 EMPUJES DEBIDO A INESTABILIDADES DEL SUELO

Se deben considerar como cargas accidentales los empujes laterales sobre la estructura enterrada cuando ésta retenga o atraviese masas de terreno potencialmente inestables (por ejemplo, taludes en deslizamiento progresivo y suelos expansivos).

3.16.6 DEPÓSITOS Y SOBRECARGADO

A menos que el proyecto considere niveles máximos de depósitos de materiales o fije espesores de dragado de mantenimiento y tolerancias admisibles para el mismo, se consideran como cargas accidentales las cargas adicionales o las reducciones de las cargas favorables mínimas debidas a posibles depósitos o sobredragados en el trasdós de estructuras de contención o en el pie de taludes, respecto a la profundidad teórica de proyecto.

3.16.7 CARGAS DE CONSTRUCCIÓN

Las cargas de construcción son aquellas acciones transitorias o residuales, debido específicamente a los distintos procesos de fabricación, montaje, o puesta en marcha de la estructura resistente y de sus elementos durante la fase construcción, pudiendo dichas acciones imponer en la estructura resistente estados de sollicitación de carácter temporal, o permanente, si son ocasionados por modificaciones en los esquemas estructurales o en los apoyos durante dicha fase. En este último caso las cargas de construcción podrán mantenerse o manifestarse reiteradamente durante la vida útil de las estructuras (por ejemplo, excentricidades de cargas, desalineaciones de montajes, desplomes, etc.)

Los valores característicos de las cargas de construcción se determinan en función de los métodos de construcción propuestos, y puesta en obra de la estructura analizada, provistos en los proyectos.

3.17 ANÁLISIS SÍSMICO

El análisis y diseño sísmico de estructuras marítimas y portuarias se deberá realizar de acuerdo a la norma chilena NCh 2369. Of2003, junto a las consideraciones especiales inherentes a cada tipología estructural.

3.18 COMBINACIONES DE CARGA

Las combinaciones básicas de carga deberán ser realizadas de acuerdo a las disposiciones de la Norma Chilena NCh 3171.Of2010.

En el caso de combinaciones que incluyan acciones sísmicas prevalecerá lo establecido en las Normas Chilenas NCh 2369.Of2003, NCh 2745.Of2003, NCh 433 Of. 96 Mod. 2009 y D.S. 61, según corresponda.

Se deberá utilizar la combinación más desfavorable en el edificio, fundación o elemento estructural considerado. En algunos casos esto puede ocurrir cuando una o más cargas en la combinación no estén presentes.

Las combinaciones de carga, utilizadas habitualmente en la práctica chilena para el diseño de obra marítimas, eran obtenidas del Military Handbook, MIL-HDBK-1025/1 "Piers and Wharves". Este documento fue reemplazado recientemente por el "Unified Facilities Criteria (UFC)" UFC 4-152-01, que utiliza las combinaciones de carga entregadas en el documento "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures" de la American Standard Institute/American Society of Civil Engineers ANSI/ASCE, combinaciones que recoge nuestra normativa en la norma NCh3171.Of2010.

Las estructuras de madera para muelles y embarcaderos deberán ser diseñadas con las combinaciones de carga de servicio y tensiones admisibles. Las estructuras de hormigón y acero también pueden ser diseñadas utilizando el enfoque anterior. El enfoque de carga de servicio puede utilizarse para diseñar y comprobar la estabilidad de las fundaciones.

A continuación se presentan las combinaciones de cargas del UFC 4-152-01 para una estructura de atraque.

Donde:

- D : Carga permanente
- Lu : Sobrecarga viva (uniforme)
- Lc : Sobrecarga viva (concentrada)
- I : Carga de impacto
- B : Flotabilidad

- Be : Fuerza de ataque
- C : Carga de corriente sobre la estructura
- Cs : Carga de corriente sobre el buque
- E : Empuje del suelo
- EQ : Carga sísmica
- W : Viento sobre la estructura
- Ws : Viento sobre el buque
- R : Creep
- S : Retracción
- T : Temperatura
- Ice : Hielo

Tabla 3.16.7-1: Combinaciones de carga: LRFD

VACANT	1(a)	2(b)	3(c)	4(d)	5(e)	6(f)	7(g)	8(h)
D	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9
L (Lc+I o Lu)	0	1,6	1	0	1	1	0	0
B	4,7	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9
Be	0	0	0	0	0	0	0	0
C	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9
Cs	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	1,6	0	0	0	0	1,6	1,6
W	0	0	0	0,8	1,6	0	1,6	0
Ws	0	0	0	0	0	0	0	0
RST (R+S+T)	0	1,2	0	0	0	0	0	0
Ice	0	0,2	0	0	1	0	1	0

BERTHING	1(a)	2(b)	3(c)	4(d)	5(e)	6(f)	7(g)	8(h)
D		1,2	1,2		1,2	1,2		
L (Lc+I o Lu)		1,6	1		1	1		
B		1,2	1,2		1,2	1,2		
Be		1,6	1		1	1		
C		1,2	1,2		1,2	1,2		
Cs		0	0		0	0		
E		1,6	0		0	0		
W		0	0		1,6	0		
Ws		0	0		0	0		
RST (R+S+T)		1,2	0		0	0		
Ice		0,2	0		1	0		

MOORING	1(a)	2(b)	3(c)	4(d)	5(e)	6(f)	7(g)	8(h)
D	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9
L (Lc+I o Lu)	0	1,6	1	0	1	1	0	0
B	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9
Be	0	0	0	0	0	0	0	0
C	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9
Cs	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9
E	0	1,6	0	0	0	0	1,6	1,6
W	0	0	0	0,8	1,6	0	1,6	0
Ws	0	0	0	0,8	1,6	0	1,6	0
RST (R+S+T)	0	1,2	0	0	0	0	0	0
Ice	0	0,2	0	0	1	0	1	0

(a) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.3.2 Eqn 1
 (b) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.3.2 Eqn 2
 (c) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.3.2 Eqn 3a
 (d) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.3.2 Eqn 3b
 (e) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.3.2 Eqn 4
 (f) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.3.2 Eqn 5
 (g) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.3.2 Eqn 6
 (h) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.3.2 Eqn 7

Nota: Las combinaciones de carga sísmica deben ser extraídas de la NCh 2369of 2003

Fuente: UFC 4-152-01

Tabla 3.16.7-2: Combinaciones de carga: Diseño por tensiones admisibles

VACANT	1(a)	2(b)	3(c)	4(d)	5(e)	6(f)	7(g)	8(h)	9(i)	10(j)
D	1	1	1	1	1	1	1	1	0,6	0,6
L (Lc+I o Lu)	0	1	0	0,75	0	0	0,75	0,75	0	0
B	1	1	1	1	1	1	1	1	0,6	0,6
Be	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	1	1	1	1	1	1	1	1	0,6	0,6
Cs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EQ	0	0	0	0	0	0,7	0	0,525	0	0,7
W	0	0	0	0	1	0	0,75	0	1	0
Ws	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RST (R+S+T)	0	1	0,75	0	0	0	0	0	0	0
Ice	0	0,7	0,7	0	0	0	0	0	0,7	0

BERTHING	1(a)	2(b)	3(c)	4(d)	5(e)	6(f)	7(g)	8(h)	9(i)	10(j)
D		1		1			1	1		
L (Lc+I o Lu)		1		0,75			0,75	0,75		
B		1		1			1	1		
Be		1		0,75			0,75	0,75		
C		1		1			1	1		
Cs		0		0			0	0		
E		1		1			1	1		
EQ		0		0			0	0,525		
W		0		0			0,75	0		
Ws		0		0			0	0		
RST (R+S+T)		1		0,75			0	0		
Ice		0,7		0			0	0		

MOORING	1(a)	2(b)	3(c)	4(d)	5(e)	6(f)	7(g)	8(h)	9(i)	10(j)
D	1	1	1	1	1	1	1	1	0,6	0,6
L (Lc+I o Lu)	0	1	0	0,75	0	0	0,75	0,75	0	0
B	1	1	1	1	1	1	1	1	0,6	0,6
Be	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	1	1	1	1	1	1	1	1	0,6	0,6
Cs	1	1	1	1	1	1	1	1	0,6	0,6
E	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EQ	0	0	0	0	0	0,7	0	0,525	0	0,7
W	0	0	0	0	1	0	0,75	0	1	0
Ws	0	0	0	0	1	0	0,75	0	1	0
RST (R+S+T)	0	1	0,75	0	0	0	0	0	0	0
Ice	0	0,7	0,7	0	0	0	0	0	0,7	0

- (a) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.4.1 Eqn 1
 (b) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.4.1 Eqn 2
 (c) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.4.1 Eqn 3
 (d) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.4.1 Eqn 4
 (e) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.4.1 Eqn 5a
 (f) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.4.1 Eqn 5b
 (g) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.4.1 Eqn 6a
 (h) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.4.1 Eqn 6b
 (i) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.4.1 Eqn 7
 (j) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.4.1 Eqn 8

Fuente: UFC 4-152-01