

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3 SOLUCIÓN PROPUESTA.....	4
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 ALCANCES DEL PROYECTO	5
1.6 METODOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS	6
1.6.1 Obtener curva de desempeño de la defensa.....	6
1.6.2 Determinar la energía de ataque del barco	6
1.6.3 Corroborar capacidad de energía de la defensa y presión crítica sobre el barco	6
1.6.4 Calcular fuerzas soportadas por los discos	7
1.6.5 Análisis estructural de los discos	7
1.6.6 Análisis de resultados	8
1.7 RESULTADOS ESPERADOS	8
1.8 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	9
CAPÍTULO II: MARCOTEÓRICO	10
2.1 DEFENSAS PORTUARIAS	11
2.1.1 Tipos de defensas.....	11
2.1.2 Diseño de defensas	12
2.1.2.1 Principios físicos de las defensas	13
2.1.2.2 Cálculo de energía de ataque	15
2.1.2.2.1 Masa de diseño del barco o desplazamiento (M).....	16
2.1.2.2.2 Velocidad de aproximación o ataque (v)	16
2.1.2.2.3 Factor de excentricidad (Ce)	17
2.1.2.2.4 Factor de masa virtual (Cm)	19
2.1.2.2.5 Factor de suavidad (Cs)	20
2.1.2.2.6 Factor de configuración de ataque o efecto cojín (Cc).....	21
2.1.2.2.7 Factor de impacto anormal (Cab).....	22
2.1.2.3 Capacidad de absorción de energía de la defensa.....	23
2.1.2.3.1 Factor de tolerancia para absorción de energía (ftol)	23

2.1.2.3.2 Factor de velocidad para absorción de energía (f_{vel})	24
2.1.2.3.3 Factor de temperatura (f_{temp}).....	24
2.1.2.3.4 Factor angular (f_{ang})	25
2.1.2.4 Fuerza de reacción máxima sobre el casco.....	26
2.1.2.4.1 Factor de tolerancia para fuerza de reacción (f_{tol})	26
2.1.2.4.2 Factor de velocidad para fuerza de reacción (f_{vel})	26
2.1.2.4.3 Factor de temperatura (f_{temp}).....	27
2.1.2.4.4 Factor angular (f_{ang})	27
2.2 ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS	28
CAPÍTULO III: INFORMACIÓN ECOFENDER2300	30
3.1 INFORMACIÓN PRINCIPAL DE LA ECOFENDER 2300.....	31
3.1.1 Croquis y principales componentes	31
3.1.1.1 Neumáticos.....	33
3.1.1.2 Pernos interiores	33
3.1.1.3 Cadena interior y exterior	33
3.1.1.4 Discos de separación de neumáticos.....	34
3.1.1.5 Placa de apoyo interior.....	35
3.1.1.6 Grillete interior y exterior	36
3.1.1.7 Placa de anclaje	36
3.1.1.8 Perno de anclaje.....	37
3.1.1.9 Placa deslizante	37
3.1.2 Dibujos reales de los discos	38
3.1.3 Curva de desempeño Ecofender 2300	40
3.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA DEFENSA	46
3.2.1 Tipo de barco	46
3.2.2 Velocidad del barco.....	48
3.2.3 Tipo de estructura de soporte de la defensa (muelle)	48
3.2.4 Condiciones ambientales y otras especiales	49
CAPÍTULO IV: MEMORIA DE CÁLCULO	50
4.1 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA Y FUERZA DE REACCIÓN DE LA DEFENSA ..	51
4.1.1 Determinación de la energía de diseño “ E_v ”	51
4.1.1.1 Determinación de la masa de diseño (M)	51
4.1.1.2 Determinación de la velocidad de atraque (v).....	51

4.1.1.3	Determinación del factor de excentricidad (C_e)	52
4.1.1.4	Determinación del factor de masa virtual (C_m).....	53
4.1.1.5	Determinación del factor de suavidad (C_s)	53
4.1.1.6	Determinación del factor de configuración de atraque (C_c).....	53
4.1.1.7	Determinación del factor de impacto anormal (C_{ab}).....	53
4.1.1.8	Energía de diseño (E_v).....	54
4.1.2	Determinación de la capacidad de absorción de energía de la defensa " E "	54
4.1.2.1	Determinación del factor de tolerancia para absorción de energía (f_{tol})	54
4.1.2.2	Determinación del factor de velocidad para absorción de energía (f_{vel}).....	54
4.1.2.3	Determinación del factor de temperatura (f_{temp})	54
4.1.2.4	Determinación del factor angular (f_{ang}).....	55
4.1.2.5	Corroboración de la capacidad de absorción de energía (E)	55
4.1.3	Determinación de la fuerza máxima sobre el casco del barco " R_s "	55
4.1.3.1	Determinación del factor de tolerancia para fuerza de reacción (f_{tol}')	55
4.1.3.2	Determinación del factor de velocidad para fuerza de reacción (f_{vel}')	56
4.1.3.3	Determinación del factor de temperatura (f_{temp})	56
4.1.3.4	Determinación del factor angular (f_{ang}).....	56
4.1.3.5	Corroboración de la fuerza de reacción real sobre el casco (R_s).....	56
4.2	ANÁLISIS DE LOS DISCOS DE SEPARACIÓN.....	57
4.2.1	Determinación de las fuerzas que soportan los discos	57
4.2.1.1	Fuerzas debido al peso de la defensa	57
4.2.1.2	Fuerzas originadas por la reacción perpendicular al muelle.....	59
4.2.1.3	Fuerzas originadas por la reacción paralela al muelle.....	59
4.2.1.3.1	Fuerza transversal originada por los neumáticos.....	60
4.2.1.3.2	Fuerzas originadas por los pernos	62
4.2.1.3.2.1	Fuerzas debido a la carga cortante en los pernos.....	62
4.2.1.3.2.2	Fuerzas debido a la precarga en los pernos.....	64
4.2.1.3.3	Fuerzas originadas por las cadenas interiores.....	65
4.2.2	Estudio de los discos en el software Ansys	67
4.2.2.1	Características del material.....	67
4.2.2.2	Introducción de la geometría.....	68
4.2.2.3	Mallado	69
4.2.2.4	Introducción de fuerzas	70
4.2.2.5	Condiciones de contorno.....	73
4.2.2.6	Solución del problema.....	74
4.2.2.6.1	Análisis de desplazamientos	74

4.2.2.6.2 Análisis de esfuerzos.....	75
4.2.2.6.3 Análisis de factores de seguridad.....	76
4.2.3 Soluciones propuestas.....	78
4.2.3.1 Rediseño de los discos	79
4.2.3.2 Tamaño de barco soportado por los discos originales.....	83
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	89
5.1 CONCLUSIONES Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	90
BIBLIOGRAFÍA.....	93
APÉNDICES.....	95
A.1 CÁLCULO DE CAPACIDAD DE ENERGÍA Y FUERZA DE REACCIÓN MÁXIMA PARA LA DEFENSA.....	96
A.1.1 Cálculo de la energía de diseño (E_v)	96
A.1.1.1 Masa de diseño (M)	96
A.1.1.2 Velocidad de ataque (v)	96
A.1.1.3 Factor de excentricidad (C_e).....	97
A.1.1.4 Factor de masa virtual (C_m)	97
A.1.1.5 Factor de suavidad (C_s).....	97
A.1.1.6 Factor de configuración de ataque (C_c)	98
A.1.1.7 Factor de impacto anormal (C_{ab})	98
A.1.1.8 Energía de diseño (E_v)	98
A.1.2 Cálculo de la capacidad de absorción de energía de la defensa (E).....	98
A.1.2.1 Factor de tolerancia para absorción de energía (f_{tol}).....	99
A.1.2.2 Factor de velocidad para absorción de energía (f_{vel})	99
A.1.2.3 Factor de temperatura (f_{temp}).....	99
A.1.2.4 Factor angular (f_{ang})	100
A.1.2.5 Capacidad de absorción de energía (E)	100
A.1.3 Cálculo de la fuerza de reacción sobre el casco del barco (R).....	100
A.1.3.1 Factor de tolerancia para fuerza de reacción (f_{tol}').....	100
A.1.3.2 Factor de velocidad para fuerza de reacción (f_{vel}').....	100
A.1.3.3 Factor de temperatura (f_{temp}).....	101
A.1.3.4 Factor angular (f_{ang})	101
A.1.3.5 Fuerza de reacción sobre el casco (R)	102
B.2 CÁLCULO DE FUERZAS EN LOS DISCOS DE SEPARACIÓN.....	103

B.2.1 Cálculo de fuerzas originadas por el peso de la defensa.....	103
B.2.2 Cálculo de fuerzas originadas por “P”	104
B.2.3 Cálculo de fuerzas originadas por “Q”	104
B.2.4 Cálculo de fuerzas originadas por los pernos	105
B.2.4.1 Fuerzas originadas por “Pt”	105
B.2.4.2 Fuerzas originadas por el apriete inicial	105
B.2.5 Cálculo de fuerzas originadas por las cadenas.....	106
C.3 PLANOS DE LOS DISCOS DE SEPARACIÓN DE NEUMÁTICOS.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: Defensa Ecofender 2300.....	3
FIGURA 2.1: Factor de defensa para distintos tipos.....	11
FIGURA 2.2: Ejemplo de instalación de neumático como defensa portuaria.....	12
FIGURA 2.3: Factores a considerar en el diseño de defensa.....	13
FIGURA 2.4: Similitud entre el comportamiento de una defensa y un resorte.....	13
FIGURA 2.5: Curva de fuerza/deflexión de una defensa en compresión.....	14
FIGURA 2.6: Proceso de compresión (curva 1) y descompresión (curva 2) de una defensa. El área encerrada corresponde a la energía perdida por histéresis.....	15
FIGURA 2.7: Valor promedio para la velocidad de atraque.....	17
FIGURA 2.8: Esquema del atraque de un barco.....	19
FIGURA 2.9: Representación de la masa de agua arrastrada por el barco.....	20
FIGURA 2.10: Estructura de soporte cerrada, parcialmente cerrada y abierta; nombradas de arriba a abajo respectivamente.....	21
FIGURA 2.11: Factor de velocidad en función de la tasa de tensión.....	24
FIGURA 2.12: Factor de temperatura en función de la temperatura ambiental.....	25
FIGURA 2.13: Factor angular en función del ángulo de compresión.....	25
FIGURA 2.14: Modelación de un resorte en ANSYS 15.....	29
FIGURA 3.1: Anclaje de Ecofender 2300.....	31
FIGURA 3.2: Discos de separación de neumáticos (D1 izquierda y D2 derecha).....	35
FIGURA 3.3: Placa de apoyo interior.....	35
FIGURA 3.4: Características de los grilletes grillete interior y exterior.....	36
FIGURA 3.5: Dimensiones placa de anclaje.....	36
FIGURA 3.6: Dibujo inicial del disco 1 (cotas en mm).....	39
FIGURA 3.7: Dibujo inicial del disco 2 (cotas en mm).....	39
FIGURA 3.8: Tipos de curvas de desempeño.....	41
FIGURA 3.9: Curva de desempeño de defensa compuesta por neumáticos.....	42
FIGURA 3.10: Grafico “parcial” de Reacción vs Deflexión.....	42

FIGURA 3.11: Curva de desempeño de Reacción vs Deflexión para la Ecofender 2300.....	44
FIGURA 3.12: Curva de desempeño de Energía vs Deflexión para la Ecofender 2300.....	44
FIGURA 3.13: Dimensiones de la clase Panamax.....	46
FIGURA 3.14: Atraque de barco a barco (no se considera en la investigación).....	49
FIGURA 4.1: DCL de la defensa soportada solo por la cadena central.....	58
FIGURA 4.2: Representación de la máxima cantidad de agua que puede acumular un neumático.....	58
FIGURA 4.3: Fuerza perpendicular “P” actuando sobre los discos.....	59
FIGURA 4.4: Boceto del neumático.....	61
FIGURA 4.5: Ensayo de deformación transversal a un neumático, vista isométrica (izquierda) y lateral (derecha). Escala real.....	62
FIGURA 4.6: Elementos ensamblados por los pernos.....	63
FIGURA 4.7: DCL del disco 2 cuando solo los pernos soportan a “Pt”.....	63
FIGURA 4.8: Tensión de apriete medio en función del diámetro del perno.....	65
FIGURA 4.9: DCL de los discos cuando solo son soportados por las cadenas interiores.....	66
FIGURA 4.10: Diseño mejorado del disco	68
FIGURA 4.11: Malla generada automáticamente.....	69
FIGURA 4.12: Malla luego de aplicar los refinamientos.....	69
FIGURA 4.13: Introducción de la fuerza “B”.....	70
FIGURA 4.14: Introducción de la fuerza “P”.....	71
FIGURA 4.15: Introducción de la fuerza “V”.....	71
FIGURA 4.16: Introducción de la fuerza “Fv”	72
FIGURA 4.17: Introducción de fuerzas “T1” y “T2” originadas por las cadenas interiores.....	72
FIGURA 4.18: Introducción de las condiciones de contorno.....	74
FIGURA 4.19: Distribución de desplazamientos (escala amplificada en un factor 10).....	75
FIGURA 4.20: Distribución del esfuerzo de corte máximo (escala amplificada en un factor 10).....	76
FIGURA 4.21: Distribución del esfuerzo de von Mises (escala amplificada en un factor 10).....	76

FIGURA 4.22: Distribución del factor de seguridad para el esfuerzo de von Mises (escala amplificada en un factor 10).....	77
FIGURA 4.23: Distribución del factor de seguridad para el esfuerzo de corte máximo (escala amplificada en un factor 10).....	77
FIGURA 4.24: Distribución del esfuerzo de von Mises (superior) y de corte máximo (inferior) para el disco con orejas dobladas, (escala amplificada en un factor 130).....	79
FIGURA 4.25: Distribución de desplazamientos para el nuevo diseño de disco (escala amplificada en un factor 67).....	82
FIGURA 4.26: Distribución del esfuerzo de von Mises (superior) y de corte máximo (inferior), (escala amplificada en un factor 67).....	82
FIGURA 4.27: Distribución del factor de seguridad para el esfuerzo de von Mises (superior) y de corte máximo (inferior), (escala amplificada en un factor 67).....	83
FIGURA 4.28: Distribución del factor de seguridad para el esfuerzo de von Mises (superior) y de corte máximo (inferior) solo considerando las fuerzas de las cadenas interiores, (escala amplificada en un factor 11).....	84
FIGURA 4.29: Distribución del esfuerzo de von Mises (superior) y de corte máximo (inferior) con las nuevas fuerzas aplicadas, (escala amplificada en un factor 69).....	87
FIGURA 4.30: Distribución del factor de seguridad para el esfuerzo de von Mises superior) y de corte máximo (inferior), (escala amplificada en un factor 69).....	87
FIGURA 4.31: Características principales del barco soportado por la defensa.....	88
FIGURA A.1: Valor promedio para la velocidad de atraque.....	96
FIGURA A.2: Factor de velocidad para absorción de energía en función de la tasa de tensión.....	99
FIGURA A.3: Factor de temperatura en función de la temperatura máxima.....	99
FIGURA A.4: Factor de velocidad para fuerza de reacción en función de la tasa de tensión.....	101
FIGURA A.5: Factor de temperatura en función de la temperatura mínima.....	101
FIGURA B.1: Representación de los discos antes (izquierda) y después (derecha) de aplicar las deformaciones transversal y longitudinal.....	104
FIGURA B.2: Tensión de apriete medio en función del diámetro del perno.....	106
FIGURA C.1: Plano del disco 1, diseño original.....	109
FIGURA C.2: Plano del disco 2, diseño original.....	110
FIGURA C.3: Plano del disco 1, diseño modificado.....	111
FIGURA C.4: Plano del disco 2, diseño modificado.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1: Definición de energía normal y anormal.....	22
TABLA 2.2: Factor de impacto anormal sugerido.....	22
TABLA 3.1: Componentes Ecofender 2300.....	32
TABLA 3.2: Detalles de conexión interior.....	33
TABLA 3.3: Características de la cadena interior y exterior.....	34
TABLA 3.4: Resultados ensayo de compresión a Ecofender 2300.....	40
TABLA 3.5: Valores de deflexión, reacción y energía para la Ecofender 2300.....	43
TABLA 3.6: Capacidad de carga para la clase Panamax.....	47
TABLA 3.7: DWT y masa para la clase Panamax.....	47
TABLA 3.8: Presión crítica sobre el casco.....	48
TABLA 4.1: Composición química del acero A36.....	67
TABLA 4.2: Propiedades mecánicas del acero A36.....	67
TABLA 4.3: Iteraciones en las dimensiones de los discos.....	81
TABLA 4.4: Características de los distintos tipos de portacontenedores.....	85
TABLA 4.5: Factores de seguridad para distintos tamaños de barcos portacontenedores.....	85
TABLA 4.6: Tipos de barcos portacontenedores.....	86
TABLA A.1: Masa para la clase Panamax.....	96
TABLA A.2: Factor de impacto anormal para clase Panamax.....	98
TABLA A.3: Presión crítica sobre el casco.....	102