

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y TÉCNICAS DE LA NAVEGACIÓN
Y DE LA CONSTRUCCIÓN NAVAL



TESIS DOCTORAL

INNOVACIÓN EN EL SISTEMA DE AMARRE DE LOS PUERTOS MARÍTIMOS COMERCIALES

Doctorando: Emma Díaz Ruiz de Navamuel

Director: Carlos Ángel Pérez Labajos

Director: Andrés Rafael Ortega Piris

Santander, Noviembre de 2015

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a mis directores, Dr. Carlos A. Pérez Labajos y Dr. Andrés R. Ortega Piris que con su esfuerzo, dedicación, experiencia, paciencia y motivación han logrado que pueda terminar mi tesis doctoral.

A mis padres que me inculcaron todos los principios seguidos durante toda mi vida, y a los que siempre tengo presentes aunque no estén aquí para acompañarme.

A mi marido quien me ha acompañado durante casi todas las singladuras de mi vida siendo siempre mi gran apoyo.

A mi pequeño Jon por la paciencia que ha tenido en estos últimos días, porque no he podido jugar ni un ratito con él.

A mis hermanos Beatriz y Manuel y a quien así considero Ton, porque siempre estáis ahí.

A mis amigos que he ido coleccionando durante las diferentes etapas de mi vida y que en cada momento compartido con ellos me han ayudado a evolucionar y mejorar como persona.

También a todos aquellos que me han acompañado en algún período de mi vida porque todos han aportado algún granito de arena en mi historia.

Por otra parte también agradezco la inestimable colaboración de la empresa “Cavotec”, que ha suministrado toda la información que les hemos solicitado para la elaboración de esta tesis.

También doy las gracias al Capitán Marítimo de Santander D. Carlos Lalinde que en toda ocasión ha estado ahí para ayudarme.

También a la Corporación de Prácticos así como a la Autoridad Portuaria del Puerto de Santander por su colaboración.

ÍNDICE

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE.....	VII
ÍNDICE	IX
ILUSTRACIONES:	XV
TABLAS:.....	XIX
GRÁFICO:.....	XXII
PARTE I: INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO 1.- ORGANIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.2.- <i>Antecedentes: Los sistemas de amarre tradicionales.....</i>	<i>4</i>
1.2.- <i>Objetivos e hipótesis.....</i>	<i>7</i>
1.2.1.- <i>Objetivos generales y específicos</i>	<i>7</i>
1.2.2.- <i>Hipótesis</i>	<i>9</i>
1.3.- <i>Metodología</i>	<i>9</i>
1.3.1.- <i>Metodología ROM 3.1-99 con simulador de maniobras en tiempo real.</i>	<i>10</i>
1.3.2.- <i>Metodología para determinar la rentabilidad económica financiera de un proyecto.....</i>	<i>15</i>
1.3.3.- <i>El modelo input-output de demanda</i>	<i>18</i>
1.3.4.- <i>Los multiplicadores de la demanda de servicios automáticos de atraque</i>	<i>23</i>
El modelo input-output regional.....	26
1.4.- <i>Plan de trabajo</i>	<i>28</i>
CAPÍTULO 2.- ESTADO DEL ARTE: LOS SISTEMAS DE AMARRE AUTOMÁTICOS	31
2.1.- <i>Antecedentes: primeros dispositivos aplicados a los buques</i>	<i>32</i>
2.1.1.- <i>Sistemas de amortiguamiento basados en resortes.....</i>	<i>32</i>
2.1.2.- <i>Primer sistema por ventosas.</i>	<i>36</i>
2.2.- <i>Primera generación en sistemas de amarre automático por ventosas de vacío para buques mercantes</i>	<i>38</i>
2.2.1.- <i>Procedimiento de maniobra de buques respecto a su atraque de Lovell 1969.....</i>	<i>38</i>
2.3.- <i>Segunda generación en sistemas de amarre automático por ventosas de vacío.....</i>	<i>40</i>
2.3.1.- <i>Sistemas intermareal de amarre de Apelstrand 1991.</i>	<i>40</i>
2.3.2.- <i>Dispositivo de amarre de Hadcroft y Montgomery de 2001.....</i>	<i>41</i>
2.3.3.- <i>Robot de amarre de Montgomery y Rositer de 2002.</i>	<i>43</i>
2.3.4.- <i>Dispositivo de amarre de barcos de Montgomery y Rositer de 2003.....</i>	<i>44</i>
2.4.- <i>Tercera generación en sistemas de amarre automático por ventosas.....</i>	<i>45</i>
2.5.- <i>Cuarta generación en sistemas de amarre automático por ventosas.</i>	<i>46</i>
2.5.1.- <i>Sistema de amarre automático con control remoto de Montgomery y Rossiter de 2007.</i>	<i>46</i>
2.5.2.- <i>Sistema de amarre y medios relacionados de Montgomery 2009.</i>	<i>49</i>
2.5.3.- <i>Sistema de amarre automático con control remoto de Montgomery y Rositer de 2012.</i>	<i>51</i>

2.6.- *Quinta generación de sistemas de amarre automático por ventosas*53

 2.6.1.- Escaneo laser para robot de amarre de Montgomery 2013^a.....53

 2.6.2.- Método y Sistema de amarre automatizado de Montgomery de 2013^a.54

2.7.- *Análisis de citas de los sistemas de amarre automáticos*56

2.8.- *Otros dispositivos de amarre automático por vacío*59

 2.8.1.- Sistema de amarre de buques de Lawlor de 1977.....59

 2.8.2.- Sistema de amarre para buques de Lee de 2012.....61

 2.8.3.- Dispositivo de amarre mediante vacío de Michl de 1997.....62

2.9.- *Otros dispositivos para embarcaciones de recreo*.....64

 2.9.1.- Dispositivo de amarre de Kulick, E.L. de 1960.64

 2.9.2.- Dispositivo de amarre para barcos de Yordi de 1961.65

 2.9.3.- Látigo de atraque de Fulton de 1964^a.66

 2.9.4.- Aparato de amarre de Faber de 1964^b.67

 2.9.5.- Dispositivo de amarre de buques de Warwick de 1978.....67

 2.9.6.- Dispositivo de amarre de buques de Booker y Bregoff 1981.....68

 2.9.7. - Método y dispositivo de amarre de buques de Cotton de 1994.....69

 2.9.8.- Sistema por látigo de Brushaber de 2003.....71

 2.9.9.- Látigo regulable montado para buques, “Adjustable Boat Whip Assembly” de Forrest (2003).72

PARTE II: LOS SISTEMAS DE AMARRE AUTOMÁTICO EN EL MUNDO 73

CAPÍTULO 3.- ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO: VENTAJAS E INCONVENIENTES ... 75

3.1.- *Descripción de los sistemas de amarre automático*.....75

3.2.- *Sistema de amarre automático*.....77

3.3.- *Sistema de control remoto*.....79

3.4.-*Ventajas de seguridad*.....80

3.5.-*Tipos de muelles y buques con los que opera el sistema de amarre automático*82

 3.5.1.- Terminales de contenedores83

 3.5.2.-Terminales RoRo.....84

 3.5.3.-Terminales de carga a granel (sólidos y líquidos)84

3.6.- *Distintos sistemas y modelos del sistema de amarre automático*85

 3.6.1- Sistema de amarre automático instalado en el propio buque.....85

 3.6.2- Sistemas de Amarre automático instalados en el muelle.....87

3.7.-*Seguimiento y control de interfaces*.....90

3.8.- *Ventajas del sistema de amarre automático*91

CAPÍTULO 4.- IMPLANTACIÓN EN EL MUNDO DEL SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO 93

4.1.- *1998 Puerto de Picton, primer sistema, Nueva Zelanda*95

4.2.- *2003 Puerto de Picton, modelo prototipo Moormaster 400, Nueva Zelanda*96

4.3.- *2003 Puerto de Melbourne & Davenport, Australia*.....96

4.4.- *2005 Puerto de Picton, Nueva Zelanda*97

4.5.- *2005 Dover, UK*98

4.6.- 2006 Muelle nº 6 de Salalah, Omán	99
4.7.- 2007 Muelle St. Lawrence Seaway, Grandes Lagos, Canadá.....	99
4.8.- 2009 Muelle nº 1 de Salalah, Omán	101
4.9.- 2009 Puertos de Hov y Sælving, Dinamarca	101
4.10.- 2011 Pantalán de gráneles líquidos, fuel, Parker Point, Dampier, Australia	103
4.11.- 2012 Puerto de Utah Point, Port Hedland, Australia.....	104
4.12.- 2012 Puertos de Spodsbjerg y Tårs, Dinamarca	104
4.13.- 2012 Puerto de Wellington, Nueva Zelanda.....	105
4.14.- 2012 Muelle nº 7, Gerald ton, Australia	106
4.15.- 2012 Beirut, Líbano.....	107
4.16.- 2013 LKAB Narvik, Noruega.....	108
4.17.- 2013 Puerto de Ngqura, Sudáfrica	108
4.18.- 2013 Jan de Nul, Brisbane, Australia	109
4.19.- 2013 Housælvig / Samsø Municipality, Dinamarca	110
4.20.- 2013 Den Helder/ Teso, Holanda.....	111
4.21.- 2014 Puerto de Helsinki, Finlandia	112
4.22.- 2014 US Navy, USA	112
4.23.- 2014 Lavik & Oppedal / Norled, Noruega.....	113
4.24.- Recapitulación	114
PARTE III: SELECCIONES EN EL ESCENARIO REAL. EL PUERTO DE SANTANDER	117
CAPÍTULO 5.- SELECCIÓN DE UN MUELLE DEL PUERTO DE SANTANDER	119
5.1.- Descripción del muelle de Raos 8 de Santander desde el punto de vista constructivo.....	119
5.2.- Descripción del muelle de Raos 9 de Santander desde el punto de vista constructivo.....	122
5.3.- Sobrecargas de operaciones de Buques	125
5.4 - Equipamiento del Sistema de atraque.....	126
5.4.1.- Cálculo de cargas de atraque.....	126
5.4.2.- Cálculo de cargas de amarre.....	134
5.5.- Efecto del viento sobre el buque.....	138
5.5.1.- Cálculo de la resultante de la acción del viento sobre el buque atracado.....	139
5.5.2.- Cálculo de la resultante de la acción del viento.....	147
CAPÍTULO 6.- SELECCIÓN DEL MODELO A INSTALAR EN EL PUERTO DE SANTANDER Y PRESUPUESTO	151
6.1.- Introducción.....	151
6.2.- Presupuesto preliminar y nº de unidades necesarias	153
6.3.- Definiciones de capacidades y detalles del sistema.....	155
6.3.1.- Viento y corriente de diseño de la unidad MoorMaster.....	155
6.3.2.- Medida de los buques.....	155
6.3.3.- Zonas de unión	157

6.3.4.- Acción de las olas y nivel del agua y calados	157
6.4.- Datos adicionales	159
6.4.1.- Dimensiones de las defensas.....	159
7.4.2.- Temperatura.....	159
7.4.3.- Superficie de interacción	159
7.4.4.- Maniobra de aproximación al muelle.....	159
6.5.- Presupuesto preliminar del sistema MOORMASTER™ 400₁₀	160
6.5.1.- Sistemas de amarre automático MM40015	160
6.5.2.- El presupuesto incluye.....	160
6.5.3.- El sistema excluye.....	160
6.5.4.- Condiciones de entrega	161
6.5.5.- Validez	162
6.6.- Posibles beneficios para el puerto de Santander	162
6.7.- Descripción funcional del modelo MOORMASTER™ 400₁₀.....	164
6.7.1.- Operación de atraque o amarre	164
6.7.2.- Amarre.....	164
6.7.3.- Desamarre	165
6.7.4.- Sistema de alarmas.....	165
6.7.5.- Sistemas de control del sistema	165
6.8.- Especificaciones del modelo MOORMASTER™ 400₁₀.....	167
6.8.1.- Dimensiones y características.....	167
6.8.2.- Rango de movimiento.....	168
CAPÍTULO 7.- EL SERVICIO DE AMARRE EN EL PUERTO DE SANTANDER.....	171
7.1.- Recursos humanos y materiales.....	171
7.1.1.- Recursos del servicio en tierra	171
7.1.2.- Recursos del servicio de bote	172
7.1.3.- Recursos del servicio de vehículos.....	174
7.1.4.- Recursos totales	174
7.2.- Costes de prestación	174
7.2.1.- Componentes del coste	174
7.2.2.- Costes totales	177
7.3.- Tarifas, gastos e ingresos.....	177
7.3.1.- Tarifas.....	177
7.3.2.- Ingresos y gastos.....	180
PARTE IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	185
CAPÍTULO 8.- DISEÑO Y RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN	187
8.1.- Determinación de las variables climatológicas en los escenarios de simulación.....	187
8.2.- Referencia de maniobra real. Procedimiento de una maniobra real realizada por un tipo de buque similar al utilizado en la simulación.....	189
8.3.- Cabos utilizados a bordo del Buque seleccionado.....	196

8.4.- Procedimiento seguido en los escenarios de simulación	198
8.5.- Resultados de la simulación de las maniobras en los diferentes supuestos	208
8.5.1.- Escenario I Supuesto 1 A: Muelle Raos 8: SW Sin cabos.....	210
8.5.2.- Escenario I Supuesto 2 A: Muelle Raos 8: SW Con cabos.....	213
8.5.3.- Escenario I Supuesto 3 A: Muelle Raos 8: SW Sistema de amarre automático.....	216
8.5.4.- Escenario I Supuesto 1 B: Muelle Raos 8: S Sin cabos.....	218
8.5.5.- Escenario I Supuesto 2 B: Muelle Raos 8: S Con cabos	221
8.5.6.- Escenario I Supuesto 3 B: Muelle Raos 8: S Sistema de amarre automático	223
8.5.7.- Escenario II Supuesto 1 A: Muelle Raos 9: SW Sin cabos	225
8.5.8.- Escenario II Supuesto 2 A: Muelle Raos 9: SW Con cabos.....	228
8.5.9.- Escenario II Supuesto 3 A: Muelle Raos 9: SW Sistema de amarre automático.....	231
8.5.10.- Escenario II Supuesto 1 C: Muelle Raos 9: W Sin cabos.....	234
8.5.11.- Escenario II Supuesto 2 C: Muelle Raos 9: W Con cabos	236
8.5.12.- Escenario II Supuesto 3 C: Muelle Raos 9: W Sistema de amarre automático.....	239
8.6.- Análisis de los resultados de la simulación	241
8.6.1.- Escenario I A: Resultado con Viento SW en Raos 8.....	242
8.6.2.- Escenario I B: Resultado con Viento S en Raos 8	242
8.6.3.- Escenario II A: Resultado con Viento SW en Raos 9.....	243
8.6.4.- Escenario II C: Resultado con Viento W en Raos 9.....	244
8.7.- Conclusiones del estudio en el simulador	244
8.8.- Viabilidad técnica: Beneficios	248
CAPÍTULO 9.- ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO DEL SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO	251
9.1.- Estimación de costes.....	251
9.1.1.- Costes de establecimiento.....	251
9.1.2.- Costes de explotación.....	252
9.2.- Gastos de Establecimiento.....	253
9.2.1.- Vehículos	253
9.2.2.- Personal	253
9.2.3.- Consumos electricidad.....	254
9.2.4.- Consumos Combustible	254
9.2.5.- Mantenimiento.....	254
9.2.6.- Seguro.....	254
9.2.7.- Otros servicios exteriores (Internet, Teléfono y Agua)	255
9.2.8.- Gastos Financieros.....	255
9.2.9.- Amortización.....	258
9.3.- Ingresos y fuentes de financiación.....	258
9.3.1.- Venta de servicios de atraque	259
9.3.2.- Subvención Autoridad Portuaria de Santander	259
9.3.3.- Créditos.....	259
9.4.- Presupuesto de capital	260
9.5.- Presupuesto de explotación.....	260

9.6.- Presupuesto de tesorería.....	260
9.7.- Rentabilidad de la inversión.....	261
CAPÍTULO 10.- IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS DE LA IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO EN CANTABRIA (2014)	267
10.1.- Tabla input-output simétrica de Cantabria 2007 (10*10) simplificada.	267
10.2.- Estructura del gasto y la inversión del sistema automático de amarre en Cantabria, por conceptos.	269
10.3.- Vectores de gasto del sistema automático de amarre en Cantabria, por ramas de actividad	271
10.4.- Impacto interior del sistema automático de amarre en Cantabria (2014)	273
10.4.1. Impactos sobre la producción interior	273
10.4.2.- Impactos sobre el valor añadido bruto.....	274
10.4.3.- Impactos sobre el excedente bruto de explotación	275
10.4.4.- Impactos sobre la remuneración de asalariados	276
10.4.5.- Impactos sobre empleo regional	277
10.5. Impacto total del sistema automático de amarre en Cantabria (2014).....	278
10.5.1.- Impactos sobre la producción total	278
10.5.2.- Impactos sobre el valor añadido bruto total	279
10.5.3.- Impacto total sobre el excedente bruto de explotación.....	280
10.5.4.- Impacto total sobre la remuneración de asalariados	281
10.5.5.- Impactos sobre empleo regional	282
CAPÍTULO 11.- CONSECUENCIAS MEDIOAMBIENTALES.....	283
11.1.- Tiempo real utilizado en las maniobras.	283
11.2.- Ahorro de combustible y disminución de emisiones de CO ₂ a la atmósfera.....	286
11.2.1.- Cálculo del ahorro con el buque Parsifal	289
11.2.2.- Cálculo del ahorro con el buque Toscana	290
11.2.3.- Cálculo del ahorro con el buque Autostar	290
11.2.4.- Cálculo del ahorro con el buque Autobay.....	291
11.2.5.- Cálculo del ahorro de combustible medio anual y disminución de las emisiones de CO ₂	291
CONCLUSIONES	293
CONCLUSIONES	295
BIBLIOGRAFÍA Y OTRAS FUENTES CONSULTADAS	297
BIBLIOGRAFÍA	299
OTRAS FUENTES CONSULTADAS (PATENTES).....	307
OTRAS FUENTES CONSULTADAS (PÁGINAS WEB)	308

ILUSTRACIONES:

ILUSTRACIÓN 1. SISTEMA DE MANIOBRA DEL BUQUE “AUTOSTAR”	4
ILUSTRACIÓN 2. ESQUEMA DE LOS CABOS DE UN BUQUE A TIERRA.	6
ILUSTRACIÓN 3. MANIOBRA REALIZADA CON EL SIMULADOR, PANTALLA DE VISIÓN EXTERIOR.....	11
ILUSTRACIÓN 4. MANIOBRA REALIZADA CON EL SIMULADOR, PANTALLA DEL INSTRUCTOR.	12
ILUSTRACIÓN 5. SISTEMA DE SUJECCIÓN PARA BARCOS.	33
ILUSTRACIÓN 6. DISPOSITIVO PARA AMARRE DE BUQUES.....	34
ILUSTRACIÓN 7. EQUIPOS DE FIJACIÓN PARA BARCOS.....	35
ILUSTRACIÓN 8. SISTEMA DE AMARRE PARA EMBARCACIONES.	36
ILUSTRACIÓN 9. MÉTODO Y SISTEMA PARA MANIOBRAR BUQUES.	37
ILUSTRACIÓN 10. PROCEDIMIENTO DE MANIOBRA DE BUQUES RESPECTO A SU ATRAQUE.	38
ILUSTRACIÓN 11. PROCEDIMIENTO DE MANIOBRA DE BUQUES RESPECTO A SU ATRAQUE.	39
ILUSTRACIÓN 12. PROCEDIMIENTO DE MANIOBRA DE BUQUES RESPECTO A SU ATRAQUE.	40
ILUSTRACIÓN 13. SISTEMA DE AMARRE.	41
ILUSTRACIÓN 14. DISPOSITIVO DE AMARRE.	42
ILUSTRACIÓN 15. ROBOT DE AMARRE.....	43
ILUSTRACIÓN 16. DISPOSITIVO DE AMARRE DE BARCOS.....	44
ILUSTRACIÓN 17. ROBOT DE AMARRE.....	45
ILUSTRACIÓN 18. SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO CON CONTROL REMOTO.	47
ILUSTRACIÓN 19. SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO CON CONTROL REMOTO.	48
ILUSTRACIÓN 20. SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO CON CONTROL REMOTO.	48
ILUSTRACIÓN 21. SISTEMA DE AMARRE Y MEDIOS RELACIONADOS. FIGURAS 4 Y 5.....	49
ILUSTRACIÓN 22. SISTEMA DE AMARRE Y MEDIOS RELACIONADOS. FIGURAS 1, 2 Y 3.....	49
ILUSTRACIÓN 23. SISTEMA DE AMARRE Y MEDIOS RELACIONADOS.....	50
ILUSTRACIÓN 24. SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO CON CONTROL REMOTO.	51
ILUSTRACIÓN 25. SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO CON CONTROL REMOTO.	52
ILUSTRACIÓN 26. SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO CON CONTROL REMOTO.	53
ILUSTRACIÓN 27. ESCANEEO LASER PARA ROBOT DE AMARRE.	54
ILUSTRACIÓN 28. MÉTODO Y SISTEMA DE AMARRE AUTOMATIZADO.	55
ILUSTRACIÓN 29. SISTEMA DE AMARRE DE BUQUES.....	60
ILUSTRACIÓN 30. SISTEMA DE AMARRE PARA BUQUES.	61
ILUSTRACIÓN 31. SISTEMA DE AMARRE PARA BUQUES, ESTRUCTURAS SOBRE RAÍLES.	61
ILUSTRACIÓN 32. DISPOSITIVO DE AMARRE MEDIANTE VACÍO.....	63
ILUSTRACIÓN 33. DISPOSITIVO DE AMARRE MEDIANTE VACÍO.....	63
ILUSTRACIÓN 34. DISPOSITIVO DE AMARRE.	64
ILUSTRACIÓN 35. DISPOSITIVO DE AMARRE PARA BARCOS.	65

ILUSTRACIÓN 36. LÁTIGO DE ATRAQUE.	66
ILUSTRACIÓN 37. APARATO DE AMARRE.....	67
ILUSTRACIÓN 38. DISPOSITIVO DE AMARRE DE BUQUES.....	68
ILUSTRACIÓN 39. DISPOSITIVO DE AMARRE DE BUQUES.....	69
ILUSTRACIÓN 40. MÉTODO Y DISPOSITIVO DE AMARRE DE BUQUES.....	70
ILUSTRACIÓN 41. SISTEMA POR LÁTIGO.....	71
ILUSTRACIÓN 42. SISTEMA POR LÁTIGO.....	72
ILUSTRACIÓN 43 LÁTIGO REGULABLE MONTADO PARA BUQUES.....	72
ILUSTRACIÓN 44. SISTEMA CAVOTEC.....	75
ILUSTRACIÓN 45. OTROS SERVICIOS QUE OFRECE CAVOTEC.....	76
ILUSTRACIÓN 46. SISTEMA CAVOTEC, MOORING MASTER.....	76
ILUSTRACIÓN 47. SISTEMA CAVOTEC, MOORING MASTER.....	77
ILUSTRACIONES 48 Y 49. SISTEMA CAVOTEC, MOORING MASTER.....	78
ILUSTRACIÓN 50. SISTEMA MOORING MASTER DE CAVOTEC.....	78
ILUSTRACIÓN 51. OPERADOR DEL SISTEMA MOORING MASTER MEDIANTE DE CONTROL REMOTO Y MANDO.....	79
ILUSTRACIÓN 52. BUQUE DE PASAJE ATRACADO UTILIZANDO EL SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO DE CAVOTEC. SIN CABOS.	83
ILUSTRACIÓN 53: SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO, MODELO DE LAS SERIES IRONSAILOR.....	86
ILUSTRACIÓN 54. SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO, MODELO IRONSAILOR, SERIE T.....	86
ILUSTRACIÓN 55: SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO, MODELO IRONSAILOR INSTALADO A BORDO DE UN BUQUE, NO EN EL MUELLE.....	87
ILUSTRACIÓN 56. SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO MODELO QUAYSAILOR 20.....	88
ILUSTRACIÓN 57. SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO, MODELO QUAYSAILOR 40.....	89
ILUSTRACIÓN 58. SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO, MODELO QUAYSAILOR 80.....	89
ILUSTRACIÓN 59. ÚNICO OPERADOR DEL SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO DE CAVOTEC, DESDE SU OFICINA Y VISTA DE LA BOTONADURA UTILIZADA.....	90
ILUSTRACIÓN 60. PANTALLAZOS DEL ORDENADOR DEL OPERADOR DEL SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO DE CAVOTEC.....	90
ILUSTRACIÓN 61. SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO DE CAVOTEC, MODELO QUAYSAILOR 40 INSTALADO EN PICTON.....	92
ILUSTRACIÓN 62. MODELO INSTALADO EN PICTON.....	95
ILUSTRACIÓN 63. PROTOTIPO INSTALADO Y OPERANDO EN PICTON DESDE 2002 A 2005.....	96
ILUSTRACIÓN 64. MODELO MOORMASTER™400, INSTALADO EN MELBOURNE.....	97
ILUSTRACIÓN 65. MODELO MOORMASTER™400.....	98
ILUSTRACIÓN 66. MODELO DE PRUEBA MOORMASTER™800.....	98
ILUSTRACIÓN 67. MODELO INSTALADO EN EL MUELLE Nº6 DE SALALAH DE OMAN.....	99
ILUSTRACIÓN 68. MODELO MOORMASTER™200LS.....	100
ILUSTRACIÓN 69. MODELO MOORMASTER™200LS.....	100
ILUSTRACIÓN 70. MODELO INSTALADO EN EL MUELLE DE SALALAH, OMÁN.....	101
ILUSTRACIÓN 71. MODELO INSTALADO EN ESTE PUERTO DE DINAMARCA. MODELO SIMILAR A INSTALAR EN SANTANDER.....	102

ILUSTRACIÓN 72. MODELO MOORMASTER™200D, INSTALADO EN UN PANTALÁN	103
ILUSTRACIÓN 73. MODELOS MOORMASTER™M200B INSTALADOS PARA ATRAQUE DE BULKARRIER	104
ILUSTRACIÓN 74. MODELO MOORMASTER™400 INSTALADO EN EL MUELLE DE SPODSBJERG/ TÅRS	105
ILUSTRACIÓN 75. MODELO UTILIZADO EN WELLINGTON	105
ILUSTRACIÓN 76. MODELO MOORMASTER™200C	106
ILUSTRACIÓN 77. MODELO MM200C17	107
ILUSTRACIÓN 78. MODELO MM200C17	108
ILUSTRACIÓN 79. MODELO MOORMASTER™ 200C17	109
ILUSTRACIÓN 80. MODELO MOORMASTER™ MM200C23	110
ILUSTRACIÓN 81. MODELO MOORMASTER™400A10.....	111
ILUSTRACIÓN 82. MODELO MM200E60.....	113
ILUSTRACIÓN 83. BUQUE CATAMARÁN CON NUEVA TECNOLOGÍA DE BATERÍAS	114
ILUSTRACIÓN 84. MUELLE DE RAOS 8 (SANTANDER).....	120
ILUSTRACIÓN 85. SECCIÓN TIPO, MUELLE RAOS 8.....	121
ILUSTRACIÓN 86. VISTA DE LA ZONA DE ACTUACIÓN. MUELLE DE RAOS 9. PUERTO DE SANTANDER	122
ILUSTRACIÓN 87. VISTA DE UBICACIÓN DEL MUELLE DE RAOS 9. PUERTO DE SANTANDER.....	122
ILUSTRACIÓN 88. SECCIÓN TIPO POR ZONAS MÁS EXIGENTE	124
ILUSTRACIÓN 89. DETALLE DE DEFENSA, ALZADO Y SECCIÓN	129
ILUSTRACIÓN 90. MUELLE DE RAOS 8	130
ILUSTRACIÓN 91. DETALLE DE DEFENSA, ALZADO Y SECCIÓN	131
ILUSTRACIÓN 92. ESQUEMA PARA EL CÁLCULO DE PROA	133
ILUSTRACIÓN 93. DETALLE DE DEFENSA, ALZADO Y SECCIÓN	136
ILUSTRACIÓN 94. ROM 0.4-95	144
ILUSTRACIÓN 95. SISTEMA AMARRE AUTOMÁTICO CAVOTEC	151
ILUSTRACIÓN 96. SISTEMA AMARRE AUTOMÁTICO CAVOTEC	151
ILUSTRACIÓN 97. BUQUE "CITY OF ÁMSTERDAM"	153
ILUSTRACIÓN 98. DATOS DEL BUQUE "CITY OF ÁMSTERDAM"	154
ILUSTRACIÓN 99. BUQUE PARSIFAL	154
ILUSTRACIÓN 100. DIBUJO DE LAS DEFENSAS EXISTENTES EN EL PUERTO DE RAOS 8 DE SANTANDER	159
ILUSTRACIÓN 101. SISTEMA AMARRE AUTOMÁTICO CAVOTEC	163
ILUSTRACIÓN 102. SISTEMA AMARRE AUTOMÁTICO CAVOTEC	164
ILUSTRACIÓN 103. FUERZA DE RETENCIÓN DEL MODELO MOORMASTER™400	167
ILUSTRACIÓN 104. SISTEMA AMARRE AUTOMÁTICO CAVOTEC	168
ILUSTRACIÓN 105. BUQUE "PARSIFAL" DE LA COMPAÑÍA WALLENIUS WILHELMSSEN	189
ILUSTRACIÓN 106. CARTA NÁUTICA DE SANTANDER.....	191
ILUSTRACIÓN 107. PUERTO DE SANTANDER, MUELLE RAOS 8	192
ILUSTRACIÓN 108. MANIOBRA DE ATRAQUE DEL "PARSIFAL"	195
ILUSTRACIÓN 109. ESQUEMA DE LA MANIOBRA DE ATRAQUE DEL PARSIFAL	195

ILUSTRACIÓN 110. ROLLO DE CABO UTILIZADO EN LOS BUQUES DE WALLENIUS.....	196
ILUSTRACIÓN 111. MOVIMIENTO DE LOS BUQUES.....	201
ILUSTRACIÓN 112. BUQUE “TEXAS”.....	206
ILUSTRACIÓN 113. DIBUJO CON LAS DIMENSIONES DEL BUQUE TEXAS.	206
ILUSTRACIÓN 114. DIBUJO CON LAS DIMENSIONES DEL BUQUE TEXAS.	206
ILUSTRACIÓN 115. MANIOBRA Nº 1. ESCENARIO I, SUPUESTO 1AA	210
ILUSTRACIÓN 116. MANIOBRA Nº 4. ESCENARIO I, SUPUESTO 1AB	210
ILUSTRACIÓN 117. MANIOBRAS Nº 7 ESCENARIO I, SUPUESTO 1AC.....	211
ILUSTRACIÓN 118. MANIOBRA Nº 20 ESCENARIO I SUPUESTO 2 AA.....	214
ILUSTRACIÓN 119. MANIOBRA Nº 22. ESCENARIO I SUPUESTO 2 AB.....	214
ILUSTRACIÓN 120. MANIOBRA Nº 26. ESCENARIO I SUPUESTO 2 AC.....	214
ILUSTRACIÓN 121. MANIOBRA Nº 37. ESCENARIO I SUPUESTO 3 AA.....	216
ILUSTRACIÓN 122. MANIOBRA Nº 40. ESCENARIO I SUPUESTO 3 AB.....	217
ILUSTRACIÓN 123. MANIOBRA Nº 43. ESCENARIO I SUPUESTO 3 AC.....	217
ILUSTRACIÓN 124. MANIOBRA Nº 10. ESCENARIO I SUPUESTO 1 B.....	218
ILUSTRACIÓN 125. MANIOBRA Nº 13. ESCENARIO I SUPUESTO 1 C.....	219
ILUSTRACIÓN 126. MANIOBRA Nº 16. ESCENARIO I SUPUESTO 1 D.....	219
ILUSTRACIÓN 127. MANIOBRA Nº 28. ESCENARIO I SUPUESTO 2 BB.....	221
ILUSTRACIÓN 128. MANIOBRA Nº 31. ESCENARIO I SUPUESTO 2 BC.....	221
ILUSTRACIÓN 129. MANIOBRA Nº 34. ESCENARIO I SUPUESTO 2 BD.....	222
ILUSTRACIÓN 130. MANIOBRA Nº 46. ESCENARIO I SUPUESTO 3 BB.....	223
ILUSTRACIÓN 131. MANIOBRA Nº 49. ESCENARIO I SUPUESTO 3 BC.....	223
ILUSTRACIÓN 132 MANIOBRA Nº 51. ESCENARIO I SUPUESTO 3 BC.....	224
ILUSTRACIÓN 133. MANIOBRA Nº 3. ESCENARIO II SUPUESTO 1 AA.....	226
ILUSTRACIÓN 134. MANIOBRA Nº 5. ESCENARIO II SUPUESTO 1 AB.....	226
ILUSTRACIÓN 135. MANIOBRA Nº 7. ESCENARIO II SUPUESTO 1 AC.....	227
ILUSTRACIÓN 136. MANIOBRA Nº 20. ESCENARIO II SUPUESTO 2 AA.....	229
ILUSTRACIÓN 137. MANIOBRA Nº 22. ESCENARIO II SUPUESTO 2 AB.....	229
ILUSTRACIÓN 138. MANIOBRA Nº 25. ESCENARIO II SUPUESTO 2 AC.....	229
ILUSTRACIÓN 139. MANIOBRA Nº 38. ESCENARIO II SUPUESTO 3 AA.....	232
ILUSTRACIÓN 140. MANIOBRA Nº 40. ESCENARIO II SUPUESTO 3 AB.....	232
ILUSTRACIÓN 141. MANIOBRA Nº 43. ESCENARIO II SUPUESTO 3 AC.....	232
ILUSTRACIÓN 142. MANIOBRA Nº 10. ESCENARIO II SUPUESTO 1 CA.....	234
ILUSTRACIÓN 143. MANIOBRA Nº 13. ESCENARIO II SUPUESTO 1 CB.....	234
ILUSTRACIÓN 144. MANIOBRA Nº 16. ESCENARIO II SUPUESTO 1 CC.....	235
ILUSTRACIÓN 145. MANIOBRA Nº 29. ESCENARIO II SUPUESTO 2 CA.....	237
ILUSTRACIÓN 146. MANIOBRA Nº 31. ESCENARIO II SUPUESTO 2 CB.....	237
ILUSTRACIÓN 147. MANIOBRA Nº 34. ESCENARIO II SUPUESTO 2 CC.....	237

ILUSTRACIÓN 148. MANIOBRA Nº 46. ESCENARIO II SUPUESTO 3 CA	239
ILUSTRACIÓN 149. MANIOBRA Nº 49. ESCENARIO II SUPUESTO 3 CB	239
ILUSTRACIÓN 150. MANIOBRA Nº 52. ESCENARIO II SUPUESTO 3 CC	240

TABLAS:

TABLA 1. EFECTOS DEL SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO.....	23
TABLA 2. ESTRUCTURA DE UNA TABLA INPUT-OUTPUT REGIONAL	27
TABLA 3. PATENTES QUE CITAN A LA DE STANDWICK DE 1965.....	37
TABLA 4. CITACIONES.....	57
TABLA 5. RELACIÓN DE LOS PUERTOS EN LOS QUE ESTÁ FUNCIONANDO.....	93
TABLA 6: RELACIÓN DE LOS PUERTOS EN LOS QUE ESTÁ FUNCIONANDO.....	115
TABLA 7. CARACTERÍSTICAS CANAL DE NAVEGACIÓN A RAOS 9. FUENTE: PROYECTO RAOS 9.....	125
TABLA 8. ROM 0.2-90, 4.2.3.5.5.....	131
TABLA 9.ROM 0.2-90, 4.2.3.5.4.	132
TABLA 10. ROM 0.2-90, 4.2.3.5.....	135
TABLA 11. ROM 0.2-90, TABLA 4.2.3.5.14.....	137
TABLA 12. ROM 0.2-90, TABLA 4.2.3.5.15.....	138
TABLA 13. ROM 0.4-95, 3.2.2.8.1.....	140
TABLA 14. ROM 0.2-90. TABLA 2.1.1.....	141
TABLA 15. ROM 0.2-90. TABLA 2.3.1.2.....	142
TABLA 16. ROM 0.4-95.	143
TABLA 17 ROM 0.4-95.	143
TABLA 18. TABLA CON LOS DATOS DEL KA PARA EL CÁLCULO DE $V_{72.1}$	144
TABLA 19. ROM 0.4-95.	145
TABLA 20. ROM 0.4-95.	145
TABLA 21. ROM 0.4-95.	146
TABLA 22. PARA EL CÁLCULO DE $V_{72.1}$	146
TABLA 23. PARA EL CÁLCULO DE A, DEPENDIENDO DEL MUELLE DE ATRAQUE.....	147
TABLA 24: PARA EL CÁLCULO DE R_v , DEPENDIENDO DEL RUMBO DEL MUELLE DE ATRAQUE Y DEL ÁNGULO A.....	147
TABLA 25. RESUMEN DE R_v , EN RAOS 8.	147
TABLA 26. RESUMEN DE R_v , EN RAOS 9.	148
TABLA 27. DIRECCIONES MÁS DESFAVORABLES.	148
TABLA 28. Nº DE UNIDADES CAVOTEC POR VELOCIDAD DE VIENTO.....	153
TABLA 29. LÍNEAS REGULARES QUE UTILIZAN EL MUELLE DE RAOS 8 DEL PUERTO DE SANTANDER.	156
TABLA 30. BUQUES EN EL PUERTO DE SANTANDER EN EL 2013 Y MEDIA DEL GT MENSUAL.....	157
TABLA 31. BUQUES EN EL PUERTO DE SANTANDER EN EL 2014 Y MEDIA DEL GT MENSUAL.....	157

TABLA 32. MAREAS DE SANTANDER, MAREAS VIVAS Y MUERTAS DEL 2013.	158
TABLA 33. Nº DE UNIDADES CAVOTEC POR VELOCIDAD DE VIENTO Y PRECIOS UNITARIOS.	160
TABLA 34. NÚMERO MÍNIMO DE AMARRADORES EN TIERRA.	172
TABLA 35. COSTES LABORALES. ELABORACIÓN PROPIA.	175
TABLA 36. AMORTIZACIONES.	176
TABLA 37 COSTES DE MANTENIMIENTO.	176
TABLA 38. OTROS COSTES DE OPERACIÓN.	176
TABLA 39. OTROS COSTES.	177
TABLA 40. COSTES TOTALES.	177
TABLA 41. TARIFA DE LOS AMARRADORES 2013.	178
TABLA 42. CÁLCULO, EJEMPLO 1.	179
TABLA 43. CÁLCULO, EJEMPLO 2. BUQUE NO RORO.	179
TABLA 44. CÁLCULO, EJEMPLO 3. BUQUE RORO.	179
TABLA 45. BENEFICIOS POR EL SERVICIO DE AMARRADORES DURANTE 2013 Y 2014.	180
TABLA 46. BENEFICIOS POR MESES DEL SERVICIO DE AMARRADORES DURANTE 2013.	180
TABLA 47. TABLA DE BENEFICIOS POR MESES DEL SERVICIO DE AMARRADORES DURANTE 2014.	180
TABLA 48 RESUMEN DE INGRESOS DERIVADAS DE LAS TARIFAS DEL AÑO 2013.	181
TABLA 49. RESUMEN DE INGRESOS DERIVADAS DE LAS TARIFAS DEL AÑO 2014.	183
TABLA 50. RELACIÓN ENTRE LOS TIPOS DE BUQUES CON EL PESO MUERTO Y EL DIÁMETRO DE LAS ESTACHAS.	197
TABLA 51. RELACIÓN EL DIÁMETRO Y LA CARGA DE ROTURA.	197
TABLA 52. CARACTERÍSTICA DEL BUQUE UTILIZADO POR EL CEDEX.	199
TABLA 53. CARACTERÍSTICA DEL BUQUE UTILIZADO EN EL SIMULADOR.	199
TABLA 54. ESCENARIOS PLANTEADOS.	202
TABLA 55. RESUMEN DE LAS SIMULACIONES REALIZADAS Y DURACIÓN DE LAS MISMAS.	203
TABLA 56. MANIOBRAS EN RAOS 8, CON CABOS, CON EL SISTEMA AUTOMÁTICO Y SIN CABOS.	203
TABLA 57. MANIOBRAS EN RAOS 9, SIN CABOS, CON CABOS Y CON EL SISTEMA AUTOMÁTICO.	204
TABLA 58. DISTRIBUCIÓN DE LOS CABOS.	205
TABLA 59. MEDIDAS DE LOS CABOS UTILIZADOS.	205
TABLA 60: VALORES COMPATIBLES DE MOVIMIENTO DE BUQUES ATRACADOS DURANTE LAS OPERACIONES DE CARGA.	207
TABLA 61. RESUMEN DATOS REALES.	208
TABLA 62. MANIOBRA Nº 20. ESCENARIO II SUPUESTO 2 AA.	230
TABLA 63. RESUMEN RESULTADOS: ESCENARIO I Y II, SUPUESTO 1.	241
TABLA 64. ESCENARIO I, SUPUESTOS 2 Y 3 ALTERNATIVA A.	242
TABLA 65. ESCENARIO I, SUPUESTOS 2 Y 3 ALTERNATIVA A Y OPCIONES A, B Y C.	242
TABLA 66. ESCENARIO I, SUPUESTOS 2 Y 3 ALTERNATIVA B OPCIONES B, C Y D.	243
TABLA 67 ESCENARIO I, SUPUESTOS 2 Y 3 ALTERNATIVA B Y OPCIONES A, B Y C.	243
TABLA 68. ESCENARIO II, SUPUESTOS 2 Y 3 ALTERNATIVA A OPCIONES A, B Y C.	243
TABLA 69. ESCENARIO II, SUPUESTOS 2 Y 3 ALTERNATIVA A Y OPCIONES A, B Y C.	243

TABLA 70. ESCENARIO II, SUPUESTOS 2 Y 3 ALTERNATIVA C OPCIONES A, B Y C.....	244
TABLA 71. ESCENARIO II, SUPUESTOS 2 Y 3 ALTERNATIVA C OPCIONES A, B Y C.....	244
TABLA 72. RESULTADOS ESCENARIO I.	245
TABLA 73. RESULTADOS ESCENARIO II.	246
TABLA 74. TABLA RESUMEN DE R _v , EN RAOS 8.	248
TABLA 75. RESUMEN DE R _v , EN RAOS 9.	248
TABLA 76: ESTRUCTURA DE LOS COSTES DE ESTABLECIMIENTO. AMORTIZABLES.....	252
TABLA 77. ESTRUCTURA DE LOS COSTES DE EXPLOTACIÓN.	253
TABLA 78. AMORTIZACIÓN FINANCIERA EQUIPOS. ESCENARIO I.....	256
TABLA 79. AMORTIZACIÓN FINANCIERA EQUIPOS. ESCENARIO III.....	257
TABLA 80. AMORTIZACIÓN FINANCIERA. VEHÍCULO.	258
TABLA 81. AMORTIZACIÓN FINANCIERA ANUAL. ESCENARIO I Y III.	258
TABLA 82. COSTE DE EQUIPOS. ESCENARIO I.	259
TABLA 83. COSTE DE EQUIPOS. ESCENARIO III.	259
TABLA 84. PRESUPUESTO DE EXPLOTACIÓN PREVISIONAL (2014-44).....	262
TABLA 85: PRESUPUESTO DE EXPLOTACIÓN PREVISIONAL (2014-44).....	263
TABLA 86: PRESUPUESTO DE TESORERÍA PREVISIONAL (2014-44).....	264
TABLA 87: PRESUPUESTO DE TESORERÍA PREVISIONAL (2014-44).....	265
TABLA 88.MATRIZ DE DEMANDA INTERMEDIA	268
TABLA 89. MATRIZ DE INPUTS PRIMARIOS.....	268
TABLA 90. MATRIZ DE DEMANDA FINAL.....	269
TABLA 91. DEFLACTORES BASE 2007.....	269
TABLA 92. ESTRUCTURA DE GASTO ORIGINADO POR EL SISTEMA AUTOMÁTICO	270
TABLA 93. VECTORES DE GASTO ORIGINADO POR EL SISTEMA AUTOMÁTICO DE AMARRE EN CANTABRIA, POR SECTORES ECONÓMICOS Y ESCENARIOS PREVISTOS.....	272
TABLA 94. VECTORES DE CONSUMO NETO DEL GASTO ORIGINADO POR EL SISTEMA AUTOMÁTICO DE AMARRE EN CANTABRIA, POR SECTORES ECONÓMICOS Y ESCENARIOS PREVISTOS.....	272
TABLA 95. IMPACTOS DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE AMARRE SOBRE LA PRODUCCIÓN INTERIOR DE LA COMUNIDAD DE CANTABRIA.....	274
TABLA 96. IMPACTOS INTERIORES DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE AMARRE SOBRE EL VALOR AÑADIDO BRUTO DE LA COMUNIDAD DE CANTABRIA	275
TABLA 97. IMPACTOS INTERIORES DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE AMARRE SOBRE EL EXCEDENTE BRUTO DE EXPLOTACIÓN DE LA COMUNIDAD DE CANTABRIA	276
TABLA 98. IMPACTOS INTERIORES DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE AMARRE SOBRE LA REMUNERACIÓN DE ASALARIADOS DE LA COMUNIDAD DE CANTABRIA	277
TABLA 99. IMPACTOS INTERIORES DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE AMARRE SOBRE EL EMPLEO DE LA COMUNIDAD DE CANTABRIA.....	277

TABLA 100. IMPACTOS DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE AMARRE SOBRE LA PRODUCCIÓN TOTAL DE LA COMUNIDAD DE CANTABRIA	278
TABLA 101. IMPACTOS TOTALES DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE AMARRE SOBRE EL VALOR AÑADIDO BRUTO DE LA COMUNIDAD DE CANTABRIA.....	279
TABLA 102. IMPACTOS TOTALES DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE AMARRE SOBRE EL EXCEDENTE BRUTO DE EXPLOTACIÓN DE LA COMUNIDAD DE CANTABRIA.....	281
TABLA 103. IMPACTOS TOTALES DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE AMARRE SOBRE LA REMUNERACIÓN DE ASALARIADOS DE LA COMUNIDAD DE CANTABRIA.....	282
TABLA 104. IMPACTOS TOTALES DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE AMARRE SOBRE EL EMPLEO DE LA COMUNIDAD DE CANTABRIA	282
TABLA 105. COMPARATIVA DE LOS TIEMPOS NECESARIOS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS MANIOBRAS CON CABOS.	284
TABLA 106. TIEMPOS UTILIZADOS POR LOS BUQUES DE WALLENIUS WILHELMSSEN EN LA MANIOBRA DE ATRAQUE CON CABOS.	285
TABLA 107. DATOS DE LOS BUQUES NECESARIOS PARA EL CÁLCULO.	287
TABLA 108. CÁLCULO DEL SFC DEL MOTOR PRINCIPAL.....	288
TABLA 109: CÁLCULO DEL SFC DEL MOTOR PRINCIPAL.....	288
TABLA 110. VALOR DEL SFC DEL MOTOR PRINCIPAL Y AUX. DE LOS BUQUES SELECCIONADOS.....	288
TABLA 111. VALOR DEL C_f DE LOS MOTORES PRINCIPALES Y AUXILIARES DE LOS BUQUES SELECCIONADOS	288
TABLA 112. CÁLCULO PARA EL BUQUE PARSIFAL.....	289
TABLA 113. CÁLCULO PARA EL BUQUE TOSCANA.	290
TABLA 114. CÁLCULO PARA EL BUQUE AUTOSTAR.....	290
TABLA 115. CÁLCULO PARA EL BUQUE AUTOBAY.	291
TABLA 116. RESUMEN AHORRO MEDIO DE COMBUSTIBLE POR ESCALA.	291
TABLA 117. GASTO DE GASOIL Y EMISIONES DE CO ₂ ACTUALES.	292
TABLA 118. AHORRO ANUAL EN GASOIL Y DISMINUCIÓN DE EMISIONES DE CO ₂ SI SE INSTALASEN LOS 14 O 28 ROBOTS. TIEMPO AHORRADO POR MANIOBRA 59 MINUTOS.	292

GRÁFICOS:

GRÁFICO 1. AUMENTO DE LAS INSTALACIONES DE CAVOTEC POR AÑOS.	94
GRÁFICO 2. RELACIÓN ENTRE EL Nº DE AMARRES Y LA EVOLUCIÓN.....	94
GRÁFICO 3. VALOR REPRESENTATIVO DE LA ENERGÍA CINÉTICA ABSORBIDA POR EL SISTEMA DE ATRAQUE DURANTE LA MANIOBRA DE ATRAQUE EN CONDICIONES NORMALES OPERATIVAS, EN FUNCIÓN DEL DESPLAZAMIENTO DEL BUQUE, OBTENIDA POR MÉTODOS ESTADÍSTICOS (PUERTO DE ROTTERDAM).	130
GRÁFICO 4. INGRESOS DE LOS AMARRADORES POR MESES AÑO 2013.....	182
GRÁFICO 5. INGRESOS DESGLOSADOS DEL SERVICIO DE AMARRADORES EN 2013.....	182

GRÁFICO 6. SUMA DE LOS GRÁFICOS ANTERIORES.	183
GRÁFICO 7. DIFERENCIA ENTRE UN CABO DE DOBLE CONSTRUCCIÓN Y OTRO SIMPLE.	197
GRÁFICO 8 MANIOBRA Nº 1. ESCENARIO I, SUPUESTO 1Aa	211
GRÁFICO 9. MANIOBRA Nº 4. ESCENARIO I, SUPUESTO 1Ab	212
GRÁFICO 10. MANIOBRA Nº 7. ESCENARIO I, SUPUESTO 1Ac	212
GRÁFICO 11. MANIOBRA Nº 20 ESCENARIO I SUPUESTO 2 Aa.....	215
GRÁFICO 12: MANIOBRA Nº 22. ESCENARIO I SUPUESTO 2 Ab.....	215
GRÁFICO 13. MANIOBRA Nº 37. ESCENARIO I SUPUESTO 3 Aa.....	217
GRÁFICO 14. MANIOBRA Nº 43 ESCENARIO I SUPUESTO 3 Ab.....	218
GRÁFICO 15. MANIOBRA Nº 10. ESCENARIO I SUPUESTO 1 B	220
GRÁFICO 16: MANIOBRA Nº 16. ESCENARIO I SUPUESTO 1 D.....	220
GRÁFICO 17. MANIOBRA Nº 28. ESCENARIO I SUPUESTO 2 Bb.....	222
GRÁFICO 18. MANIOBRA Nº 34. ESCENARIO I SUPUESTO 2 Bd.....	222
GRÁFICO 19. MANIOBRA Nº 49. ESCENARIO I SUPUESTO 3 Bc.....	224
GRÁFICO 20. MANIOBRA Nº 51. ESCENARIO I SUPUESTO 3 Bc.....	225
GRÁFICO 21. MANIOBRA Nº 3. ESCENARIO II SUPUESTO 1 Aa.....	227
GRÁFICO 22. MANIOBRA Nº 7. ESCENARIO II SUPUESTO 1 Ac.....	228
GRÁFICO 23. MANIOBRA Nº 22. ESCENARIO II SUPUESTO 2 Ab.....	230
GRÁFICO 24. MANIOBRA Nº 25. ESCENARIO II SUPUESTO 2 Ac.....	231
GRÁFICO 25. MANIOBRA Nº 38. ESCENARIO II SUPUESTO 3 Aa.....	233
GRÁFICO 26. MANIOBRA Nº 43. ESCENARIO II SUPUESTO 3 Ac.....	233
GRÁFICO 27: MANIOBRA Nº 10. ESCENARIO II SUPUESTO 1 Ca.....	235
GRÁFICO 28: MANIOBRA Nº 16. ESCENARIO II SUPUESTO 1 Cc.....	236
GRÁFICO 29. MANIOBRA Nº 29. ESCENARIO II SUPUESTO 2 Ca.....	238
GRÁFICO 30: MANIOBRA Nº 34. ESCENARIO II SUPUESTO 2 Cc.....	238
GRÁFICO 31: MANIOBRA Nº 46. ESCENARIO II SUPUESTO 3 Ca.....	240
GRÁFICO 32: MANIOBRA Nº 49. ESCENARIO II SUPUESTO 3 Cb.....	241
GRÁFICO 33. GASTOS EN EL ESCENARIO I	270
GRÁFICO 34. GASTOS EN EL ESCENARIO III	271

PARTE I:
INTRODUCCIÓN GENERAL

CAPÍTULO 1.- ORGANIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Hasta la segunda guerra mundial la explotación y organización del tráfico marítimo no cambió substancialmente. Las operaciones de carga y descarga seguían un proceso lento y laborioso. Por ello, en la era de la postguerra, con la expansión del mercado y la rápida subida de los costes de la mano de obra, el sistema tuvo que soportar una tremenda tensión. La congestión en los puertos se incrementó y hubo que agudizar el ingenio para buscar a través de la innovación tanto en la tecnología como en los procesos una respuesta a dichos problemas.

La industria marítima respondió a los nuevos retos con dos "revoluciones" en los dos subsectores del transporte marítimo. En los tráficos no regulares mediante el desarrollo de sistemas integrados de transporte en las líneas regulares y mediante el agrupamiento de la carga general a través del fenómeno de la unitización (containerización), con lo cual se origina un profundo cambio en los puertos marítimos comerciales para responder a dichos retos.

Como consecuencia de estas revoluciones, se producen nuevas innovaciones tanto en el ámbito tecnológico como organizativo, apareciendo nuevos tráficos, nuevos equipos y nuevos métodos.

En particular, el aumento en la fabricación de coches y la incesante necesidad de transportarlos desde las fabricas hasta los distintos puntos de venta, da lugar a otro trafico regular como es el transporte combinado tren-barco- camión, y la necesidad de hacer este transporte en el menor tiempo posible y con los costes más bajos para maximizar los beneficios. Posteriormente se vio la posibilidad de utilizar este tipo de barcos con rampa a popa o al costado no solo para el transporte de coches sino para mercancía rodada o sobre plataforma. De aquí surgió la necesidad de la construcción de buques de mayor tamaño para tener la posibilidad de cargar mercancía de mayor tamaño y hacer otras rutas.

Dicho proceso innovador aunque está muy desarrollado en los principales países industriales, aún no se puede decir que haya concluido.

La innovación en el sector marítimo se ha desarrollado en todos los ámbito, incluidos el de los sistemas de amarre de buques aunque con menos intensidad, ya que se sigue

utilizando el sistema convencional, en la mayoría de los puertos. En la actualidad se están desarrollando y comenzando a instalar algunos terminales innovadores sistemas de amarre automático.

En dicho contexto, surgen numerosas interrogantes en torno a los motivos por los que dichos sistemas de amarre automático no se han desarrollado de forma más extensa. La necesidad de encontrar respuesta a numerosas cuestiones en torno a dicho fenómeno y la incesante búsqueda de respuestas han sido los elementos motores que han motivado el desarrollo de la tesis doctoral que se presenta.

1.2.- Antecedentes: Los sistemas de amarre tradicionales

Los buques han estado navegando y atracando en los distintos puertos a lo largo de la historia, utilizando el método de amarre convencional por medio de cabos o estachas, teniendo bien diferenciado la parte del muelle y la parte del buque.

El buque se apoya en el muelle sobre las defensas para no dañar el muelle ni el casco del barco, amarrando las estachas en los “norays” con la ayuda de los amarradores del puerto.

A bordo se utilizan, las maquinillas, bitas, gateras, bozas, sirga, el personal del buque y los cabos o cables dependiendo del tipo de buque y tonelaje.

Ilustración 1. Sistema de maniobra del buque “Autostar”.



Fuente: Capitanía Marítima de Santander

Para la realización de esta parte se ha utilizado información de las siguientes referencias: (Sakakibara and Kubo, 2007; Ji et al., 2015; Banfield and Flory, 2010; Pasternak et al., 2010).

Las amarras reciben un nombre específico dependiendo de la dirección en la que trabajan al salir del buque por la guía o la gatera.

Los cabos dependiendo de la dirección de trabajo se dividen en largos, traveses, springs y coderas.

“Largos”: Los largos de proa trabajan hacia proa y los largos de popa hacia popa. Se utilizan para atracar el buque en una posición inicial y se dan lo más lejos o lo más en largo posible aunque a menudo no suele ser posible, debido a la posición de los norays en el muelle y de la existencia de otros buques atracados cerca. Los largos sirven para mantener al buque pegado al muelle lo máximo y para evitar los movimientos longitudinales del buque.

“Springs”: Estos cabos salen por la proa y por la popa y llaman hacia la cabeza contraria, es decir, los de proa trabajarán hacia popa y los de popa trabajarán hacia proa.

“Traveses”: Son amarras que trabajan perpendicularmente al muelle independientemente de la cabeza por la que salgan. Estos cabos hacen que el buque permanezca atracado al muelle y evitan sus desplazamientos transversales.

“Coderas”: Estas son las que amarran al buque por proa o popa a una boya, a un duque de alba o a un buque por el lado contrario al muelle donde esté atracado, aproximadamente en la perpendicular de los puntos de partida. La finalidad de las coderas es proteger al buque en caso de mal tiempo y evitar que choque contra el muelle. Se pueden utilizar para desatracar el barco virando de ellas cuando el viento viene del mar.

El sistema de amarre convencional en el muelle está compuesto por las defensas y los norays o bolardos.

El sistema de defensas se utiliza para:

- a) Absorber la energía de impacto debida al atraque del buque.
- b) Evitar que el casco del buque entre en contacto con la superestructura del atraque.
- c) Evitar o reducir los movimientos del buque mientras permanece amarrado.

Sin lugar a dudas la finalidad más importante de las defensas es absorber la energía cinética del buque en el momento de su atraque, evitando que sufran daños tanto su casco como la propia estructura del muelle. Está claramente demostrada la eficacia de la instalación de defensas en los muelles, sobre todo a medida que ha ido aumentando el

tamaño de los buques. La inversión realizada por este concepto está plenamente justificada.

Además el sistema de defensas debe evitar que la parte curva de la proa, cuando el buque atracado, entre en contacto con la superestructura del muelle, bolardos o cualquier otra instalación. Una vez atracado el buque, las defensas evitarán que su casco y el muelle puedan dañarse debido a los movimientos causados por el viento, variaciones en el nivel del mar, oleaje generado por viento o buques pasando por las cercanías del muelle, etc.

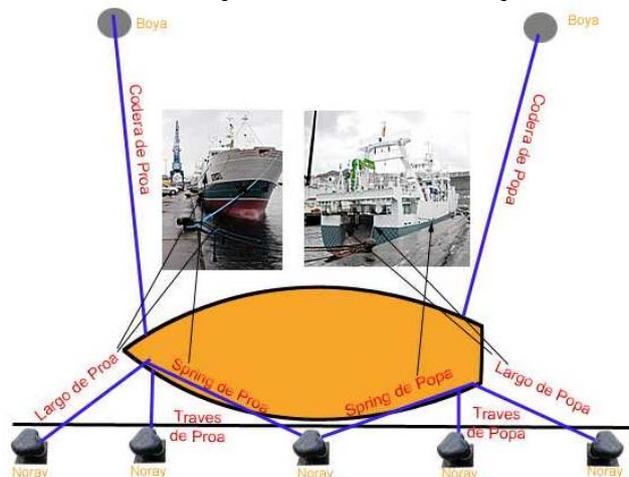
Otro aspecto a tener en cuenta en el diseño del sistema de defensas es su capacidad de reducir los movimientos del buque atracado. En efecto el buque, con su sistema de amarras y defensas, constituye un sistema compacto con un periodo propio de oscilación. Cuando este periodo está próximo al de las olas o grupos de olas que alcanzan al muelle el sistema puede entrar en resonancia haciendo imposible las operaciones de carga o descarga. Con el sistema de amarras y defensas es posible cambiar el periodo de oscilación del barco y mejorar sus condiciones de operatividad.

La principal finalidad del sistema de amarre convencional es que el barco permanezca fijo en el atraque y controlar los movimientos máximos del barco, haciendo compatible el sistema con las operaciones de carga o descarga.

Los **largos limitan el vaivén**. Si son de gran longitud permitirán una gran amplitud de movimiento, respondiendo eficazmente ante cargas dinámicas.

Los **traveses limitan la deriva y la guiñada**, deberán de ser lo más perpendicular posible y salir lo más a proa o popa posible.

Ilustración 2. Esquema de los cabos de un buque a tierra.



Fuente: <http://www.masmar.net/es>

Las defensas son elementos comunes en todos los sistemas de amarre ya sean convencionales u otros, forman parte del sistema de amarre y su primera misión es proteger al buque y muelle del primer impacto. Se deberán de tener en cuenta la capacidad de absorción y disipación de energía.

Los springs limitan el vaivén y la guiñada dependiendo de su ángulo. Con longitud suficiente pueden sustituir a los largos de proa y popa, consiguiéndose así que el buque quede en un espacio igual a su eslora. Para ello el ángulo a formar con el muelle será menor de 10°.

También debe de proteger al buque durante la estancia del buque atracado, considerando entonces su elasticidad y coeficientes de fricción.

En cuanto a la fricción interesa que frene los movimientos horizontales y no los verticales.

Las mejores defensas son las hidráulicas que cuentan con rigidez ajustable.

El sistema tradicional de atraque descrito, es el que sigue utilizándose actualmente, de forma más generalizada. Sin embargo, desde comienzos del siglo pasado se inicia un proceso de desarrollo en la investigación y aplicación práctica de nuevos sistemas de amarre automático.

El trabajo que se presenta analiza el desarrollo e implantación de dicho sistema de amarre automático. Con tal finalidad en el epígrafe siguiente se establecen los objetivos que se pretenden alcanzar en dicho análisis.

1.2.- Objetivos e hipótesis

1.2.1.- Objetivos generales y específicos

Como se ha indicado, tradicionalmente se utiliza el sistema de amarre convencional para realizar las maniobras de atraque de los buques mercantes, pero en la actualidad se están desarrollando e instalando en diferentes puertos nuevos métodos de amarre automáticos para todo tipo de barcos. En dicho contexto, nos planteamos como objetivo general analizar el impacto de la innovación en los sistemas de amarre de los puertos marítimos comerciales. Pretendemos indagar sobre cómo ha influido la innovación en el desarrollo de los sistemas de amarre automático, cuál es su grado de implantación, qué rentabilidad presentan y que efectos origina en las regiones donde se localizan, tanto socioeconómicos

como medioambientales. Dicho análisis, en sus aspectos técnicos, económicos y medioambientales, se aplicará al puerto de Santander.

El objetivo general se pretende alcanzar mediante el desarrollo y consecución de los siguientes objetivos específicos:

1. Análisis de la evolución de los sistemas de amarre automático, identificando los cambios originados por la innovación en dichos sistemas desde comienzos del siglo XX hasta nuestros días. Se estudiará la presencia del sistema de amarre automático en todo el mundo.

2. Análisis de la viabilidad técnica de la implantación del sistema de amarre automático en el puerto de Santander, utilizando simulador de maniobras en tiempo real. Se plantean dos escenarios de instalación del sistema, denominados Escenario I (muelle de Raos 8) y Escenario II (muelle de Raos 9, por construir). Estas dos terminales seleccionadas son para atraque de buques RORO.

Se simulará la aplicación del sistema de amarre automático en el puerto de Santander en los escenarios descritos, comparando tres supuestos diferentes, teniendo en cuenta las reacciones del buque en función de las variables que le afectan. Las maniobras se realizarán con las condiciones extremas de operación con el buque RORO de los de mayor tamaño que actualmente utilizan el atraque.

3. Estimación de la rentabilidad del sistema de amarre automático en los dos supuestos posibles (una terminal o las dos). Ello supone realizar las estimaciones en dos escenarios diferentes: El Escenario I (instalación del sistema de amarre automático en Raos 8) y el Escenario III (instalación del sistema en los dos muelles seleccionados Raos 8 y Raos 9).

4. Determinación del impacto socioeconómico regional de la implantación del sistema de amarre automático en el Puerto de Santander. Se intentará determinar los efectos socioeconómicos originados por la instalación de la infraestructura en la economía regional de Cantabria. Para ello se formalizarán los vectores de gasto e inversión originados por el sistema de amarre automático y los impactos interiores y totales, en la Comunidad Autónoma de Cantabria.

5. Determinar el impacto medioambiental en el puerto de Santander.

1.2.2.- Hipótesis

Los objetivos planteados se pretenden alcanzar bajo las siguientes hipótesis:

HIPÓTESIS 1: El sistema de amarre automático reduce el tiempo total de estancia de los buques en puerto, lo que supone un incremento de la capacidad portuaria disponible y una disminución del riesgo de congestión.

HIPÓTESIS 2: El sistema de amarre automático reduce el coste del servicio para determinados niveles de tráfico.

HIPÓTESIS 3: El sistema de amarre automático reduce los movimientos del buque durante su estancia en puerto, lo que aumenta la seguridad en el atraque.

HIPÓTESIS 4: El sistema de amarre automático reduce el consumo de combustible del buque en la maniobra por lo que se reducen las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

1.3.- Metodología

Para alcanzar los objetivos del análisis técnico de la viabilidad, análisis de la rentabilidad económica financiera y determinación de impactos socioeconómicos regionales, del establecimiento de un sistema automático de amarre en el puerto de Santander, se utilizarán tres metodologías diferentes, en los escenarios previstos.

El análisis de la viabilidad técnica del sistema de amarre automático se desarrollará utilizando la Metodología sobre Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM 3.1-99), elaboradas por el Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas en el año 2000 (Actualmente Puertos del Estado). Dichas recomendaciones se formalizan para estudios realizados con simulador de maniobra en tiempo real. En tal sentido se utilizará para realizar las simulaciones un simulador “Polaris” desarrollado por “Kongsberg Norcontrol Simulations” (Noruega), ubicado en la Escuela Técnica Superior de Náutica de la Universidad de Cantabria.

La rentabilidad económico financiera de los proyectos a desarrollar en los escenarios previstos se estimará aplicando los métodos tradicionales de evaluación de inversiones VAN (valor actualizado neto) y TIR (Tipo de rendimiento interno).

Por último, para determinar los efectos de la implantación del sistema de amarre automático en el Puerto de Santander, sobre los diferentes sectores de la economía de

Cantabria, hemos utilizado la metodología input-output regional, concretamente el modelo input-output de demanda.

1.3.1.- Metodología ROM 3.1-99 con simulador de maniobras en tiempo real.

De acuerdo con ROM 3.1-99, se estableció el siguiente procedimiento en el diseño y simulación de las maniobras realizadas en los escenarios previstos:

1. Se plantea la viabilidad técnica de la instalación de un sistema de amarre automático en dos escenarios del puerto de Santander. Para ello se utilizará el simulador de maniobra como herramienta para conocer si en las condiciones extremas de viento los buques pueden permanecer atracados con plena seguridad.
2. Se efectúa una completa recopilación de información general y local, que permita definir claramente los objetivos del estudio.

Los fenómenos relevantes que se han tenido en cuenta en la simulación son las corrientes, el oleaje, el viento, la succión de orilla, la actuación de remolcadores y el nº de estachas en el caso concreto objeto del estudio.

Se recopila información del puerto seleccionado, Santander en España, tipos de muelles, meteorología, corrientes de mareas, tráfico marítimo, así como los datos de construcción de los muelles seleccionados en un principio: Raos 8 (Escenario I). Pero durante la realización del presente trabajo, se publica la licitación para el proyecto de construcción de un nuevo muelle, Raos 9, con una línea de atraque de 290 metros que se destinará también al atraque de buques, por lo que se ve la necesidad de ampliar el estudio e incluir este nuevo muelle que aún está en fase de licitación: Raos 9 (Escenario II)

3. Asistencia técnica en el diseño de las simulaciones, se contacta con la Corporación de Prácticos del puerto de Santander para solicitar información y asesoramiento para la realización de una maniobra real con un buque usuario de los muelles seleccionados, y posteriormente diseñar las maniobras a realizar en el simulador.
4. Se procesa la información y junto a los asistentes técnicos, se diseñan las maniobras y se selecciona un buque tipo para la realización de las simulaciones. Se estudian las características del buque a utilizar en las simulaciones.
5. Se diseñan las condiciones a simular en los escenarios planteados.

Escenarios: I (Raos 8) y II (Raos 9)

Supuestos: 1 (Atracado Sin cabos), 2 (atracado con cabos) y 3 (atracado con el sistema de amarre automático)

Opciones: Direcciones del viento, A (viento SW), B (viento S) y C (viento W)

Alternativas: Intensidades de viento en nudos, a (35), b (45), c (50) y d (60)

Características y funcionalidad del simulador utilizado:

El estudio de las maniobras de atraque del buque en los escenarios planteados se ha realizado en el simulador de maniobra de buques en tiempo real “Polaris” desarrollado por ”Kongsberg Norcontrol Simulations” (Noruega), ubicado en la Escuela Técnica Superior de Náutica de la Universidad de Cantabria. El objeto de este sistema es reproducir el comportamiento de buques específicos en tiempo real durante la maniobra, sometidos a la acción del viento, el oleaje y la corriente y auxiliados por remolcadores. El simulador incluye un modelo matemático que calcula la trayectoria de los buques y la evolución de sus rumbos respectivos con dos importantes características:

- .- La interactividad.
- .- La operación en tiempo real.

Ilustración 3. Maniobra realizada con el simulador, pantalla de visión exterior.



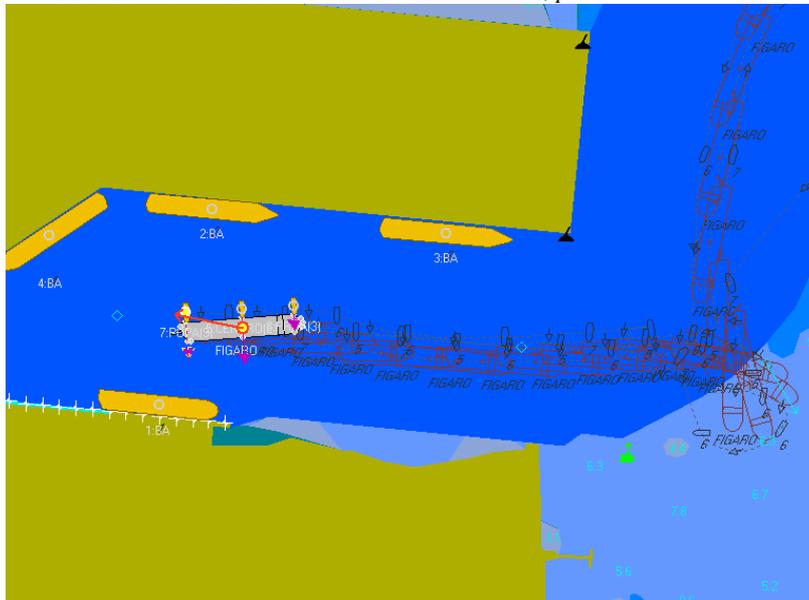
Fuente: Elaboración propia.

El simulador de navegación en tiempo real “Polaris”, se puede configurar según las necesidades de cada usuario. Consta de tres módulos de puente trabajando con una estación de Instructor.

Cada puente tiene varios subsistemas:

1. Sistema de radar.
2. Sistema de visualización. (En este caso carta electrónica)
3. Sistema de comunicaciones.

Ilustración 4. Maniobra realizada con el simulador, pantalla del instructor.



Fuente: Elaboración propia.

En la estación del instructor se encuentra el Ordenador Central del Sistema, y un servidor de archivos donde se almacenan los programas y los datos enviados a todos los subsistemas. El software se divide en varios subsistemas separados, interactuando entre ellos en tiempo real, siendo responsable cada uno de ellos de una o más tareas. Como norma general, todas las bases de datos necesarias para el funcionamiento del simulador, se almacenan como datos fijos, en el disco duro del ordenador principal del sistema.

Al comenzar un ejercicio, los archivos correspondientes a los datos dinámicos, que se actualizan se integran desde el ordenador principal del sistema al servidor. Así los ordenadores situados en los módulos de puente de cada barco propio, podrán utilizarlos en el momento que los precisen. La comunicación entre ellos, se realiza mediante una línea serie.

Desde el puesto del instructor se puede ver todo, tanto las imágenes y como datos tal y como se están viendo en los distintos puentes. Desde la estación del instructor se controlan todos los ejercicios que se estén realizando en los puentes, pudiendo interactuar con ellos en cada momento.

Aunque el ordenador principal funciona inicialmente con datos predeterminados, ajusta los datos de situación según el desarrollo del ejercicio y las acciones llevadas a cabo tanto desde los diversos puentes como de la propia estación del instructor.

La creación del ejercicio se realiza mediante la creación de nuevos escenarios, o modificando los ya existentes.

Los ejercicios pueden ser individuales para cada puente o pueden estar todos los puentes a la vez en el mismo ejercicio interactuando entre sí. Pueden estar trabajando en una misma área los tres buques propios, uno por puente, y tantos buques (Target) con rutas establecidas como sean necesarios.

En el simulador, se reproducen los puentes de los barcos propios. Durante los ejercicios, el instructor puede asignar cualquier "Ownship" (buque propio) a cualquier puente.

El taller del Software se puede situar en una habitación separada o en el mismo puesto del instructor. Incluye el soporte informático preciso, para generar y mantener bases de datos de áreas y medioambientales, así como modelos de barcos.

El programa de bases de datos basado en la aplicación de "Multigen Database Preparation", que es un completo paquete CAD tridimensional, ampliado para incorporar todas las funciones necesarias para construir bases de datos, para las líneas de costa digitales, visualización y cartas submarinas.

El paquete multigen, también puede utilizarse para los trabajos de diseño general. Por ejemplo para el diseño de puertos, donde pueden utilizar tanto generadas en el sistema como las bases de datos de visualización para el simulador, como los dibujos.

El "Ship Model Software" situado en el "Taller" de software, contiene tres paquetes de programas: uno que crea y modifica archivos de bases de datos del barco, otro que permite utilizar modelos de barco off-line, desde un PC y un tercero que permite utilizar los mismos modelos de barcos controlados desde el puesto del instructor del Polaris.

El simulador "Polaris" que se utiliza para la realización del estudio tiene un sistema visual, un canal que proporciona escenas de día, de atardecer y nocturnas con una perspectiva y colores reales. Muestra las características del terreno, canales de navegación y sistemas de ayuda a la navegación, tales como faros, señales de navegación y boyas. También muestra blancos y elementos artificiales, como edificios, torres, muelles, puentes, etc.

El sistema visual permite realizar maniobras muy reales en las proximidades de estructuras y barcos, pudiendo presentar operaciones de remolque, atraque, navegaciones, rescates, etc.

También permite navegaciones en malas condiciones de visibilidad con niebla y lluvia.

Trabaja con datos predeterminados según el área seleccionada, y con datos de situación según las diversas configuraciones y movimientos que los barcos realizan durante el ejercicio.

Se pueden utilizar prismáticos, permitiendo al operador seleccionar los aumentos y campo de visión que desee. La presentación binocular, está conectada al panel de control visual, en el puente con visión exterior. Los aumentos, se pueden configurar de acuerdo con los prismáticos utilizados.

El sistema visual es capaz de representar fielmente, la continua variación de las condiciones nocturnas, atardecer, luz diurna así como las variaciones de visibilidad desde un cielo despajado a niebla densa. Los colores, según la hora del día y de las condiciones medioambientales, se controlan desde el simulador. Pueden seleccionarse diferentes combinaciones, mediante el menú de comandos de la estación del instructor.

También se simula la textura del mar, la modulación de las olas dependiendo del viento, proporcionando así el efecto “fetch”. También se muestran las nubes y la posición del sol, calculadas continuamente por el sistema.

El sistema visual puede mostrar un gran número de luces, siempre en la posición correcta relativa, gracias al control “antialiasing”. Todas las luces de navegación tienen las características de color, sectorizado y cadencia que les corresponde.

La posición correcta de observación se encuentra en el centro del puente del barco propio aunque se pueden configurar otros puntos alternativos, a cada uno de los lados del puente, simulando la vista desde los alerones del buque.

El sistema de presentación visual puede mostrar cien blancos en movimiento cuatro buques propios, uno por puente más uno del instructor, moviéndose con la perspectiva adecuada, de acuerdo con el punto de vista del observador. Los blancos muestran luces de navegación, superestructuras, olas de proa y popa y estela según su rumbo y velocidad. También incorporan señales diurnas o nocturnas, indicando sus actividades, según las normas de navegación.

El generador de imágenes, puede gestionar hasta mil boyas, todas con sus formas y características adecuadas. El simulador las controla mediante un simple software integrado.

En la base de datos del simulador hay una serie de buques que podemos considerar buques propios y cada barco tiene sus características de eslora, manga, calado, GT, potencia, etc., que se corresponden con buques reales. Para comprobar que realmente se comportan como buques reales, se pueden realizar las curvas de evolución y comprobar que el barco reacciona como en la realidad.

Para la realización del estudio hemos utilizado barcos RORO que se corresponden con los buques reales que entran en el puerto de Santander con regularidad.

1.3.2.- Metodología para determinar la rentabilidad económica financiera de un proyecto

Entre los métodos o criterios utilizados con más frecuencia para valorar y seleccionar proyectos de inversión, destacan los métodos del valor capital (VAN) y tasa de retorno o tipo de rendimiento interno (TIR) (Suarez, 1993). La rentabilidad de los proyectos que pretenden acometerse, en los dos escenarios previstos, se piensa estimar con los métodos tradicionales de evaluación de inversiones indicados. La aplicación práctica de dichos métodos es de suma sencillez ya que con una hoja de cálculo se pueden estimar ambas funciones de forma inmediata.

1.3.2.1.- Método del valor capital o valor actualizado neto (VAN).

El término “valor capital” fue acuñado por Schneider (Schneider, 1944) y muy pronto se extendió por toda la Europa continental. En los estados Unidos e Inglaterra se prefirió utilizar el concepto "*good will*", acuñado por Lutz (Lutz, 1951). Actualmente también se utiliza en estos países el término "*capital value*" o su equivalente "*discounted cash flow*".

El “valor capital” de una inversión viene definido por el valor actualizado de todos los rendimientos o beneficios esperados. Es igual a la diferencia entre el valor actualizado de los cobros esperados y el valor, también actualizado, de los pagos previstos. El valor capital de una inversión viene definido por el valor actualizado de su *cash-flow* esperado.

Si llamamos k_1, k_2, \dots, k_n , a los tipos de descuento o actualización para cada uno de los n futuros y sucesivos años, el valor capital de una inversión vendrá definido por la expresión:

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+k_1)} + \frac{Q_2}{(1+k_1)(1+k_2)} + \dots + \frac{Q_n}{(1+k_1)(1+k_2)\dots(1+k_n)} \quad (1)$$

Donde Q son las cuasi-rentas (pagos –cobros) y K son los tipos de descuento.

En el caso de que el tipo de actualización o descuento sea independiente del tiempo, $k_1 = k_2 = \dots = k_n = k$, el valor capital vendrá dado por la fórmula:

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+k)} + \frac{Q_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+k)^n} = -A + \sum_{j=1}^n \frac{Q_j}{(1+k)^j} \quad (2)$$

El valor capital es un método de valoración de las inversiones al proporcionar una medida actualizada de la rentabilidad esperada de la misma en valor absoluto. Es también un método de decisión de inversiones, ya que nos permite saber qué inversiones deben llevarse a cabo y cuáles no, de acuerdo con los siguientes valores:

$VC > 0$: La inversión debe realizarse, porque incrementa la riqueza de la empresa.

$VC < 0$: La inversión no debe realizarse, porque en el caso de llevarse a cabo disminuiría la riqueza de la empresa.

$VC = 0$: La inversión da igual realizarla que no, porque no influye en la riqueza de la empresa.

Por último, hay que señalar también que el método o criterio del valor capital no sólo es un método de valoración y decisión de inversiones, sino también de ordenación y jerarquización. A la empresa le interesa realizar todas aquellas inversiones que tengan un valor capital positivo. Sin embargo, puede ocurrir que debido a la limitación de recursos financieros, directivos o de cualquier otro tipo, la empresa sólo pueda realizar algunas de las inversiones cuyo $VC > 0$. En un principio, la empresa debe realizar en primer término aquellas inversiones cuyo valor capital sea mayor.

El principal, y acaso el único, inconveniente de que adolece este método radica en la dificultad de especificar el tipo de actualización o descuento k . Si el mercado financiero fuera un mercado perfecto, tal inconveniente no existiría, puesto que k sería la rentabilidad que el empresario podría obtener con sus recursos financieros si en vez de dedicarlos a financiar la inversión productiva los invirtiera en el mercado financiero; o,

equivalentemente, el tipo de interés que la empresa tendría que pagar por el crédito en el mercado financiero para poder realizar la inversión productiva, en el caso de que no se dispusiera de recursos financieros propios. Sin embargo, el mercado financiero es, sin duda, uno de los mercados más imperfectos, porque se descompone en una serie de submercados o mercados financieros parciales en los que se negocian activos financieros con características de riesgo y liquidez muy diferentes y, por tanto, con tipos de rentabilidad también distintos. Por ello, en la práctica, al economista no le queda más remedio que trabajar con un valor de k medio, que varía con las vicisitudes del mercado financiero y de la coyuntura económica en general.

1.3.2.2.- El método de la tasa de retorno o tipo de rendimiento interno.

La tasa de retorno o tipo de rendimiento interno de una inversión es la rentabilidad de dicha inversión, expresada en tanto por uno o tanto por ciento, anual. Se define como aquel tipo de actualización o descuento que iguala el valor actualizado de los ingresos (en el sentido de cobros) con el valor también actualizado de los gastos (en el sentido de pagos). También se define como aquel tipo de actualización o descuento que hace igual a cero el valor capital. Es decir, la tasa de retorno o tipo de rendimiento interno de una inversión será aquel valor de r que verifique la siguiente ecuación:

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+r)} + \frac{Q_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+r)^n} = 0 \quad (3)$$

Donde Q siguen siendo las cuasi-rentas y r el rendimiento interno de la inversión

Este método o criterio valoración de inversiones nos proporciona una medida de la rentabilidad actual de la inversión en valor relativo. Como el VAN, también un método de decisión, ya que nos permite saber si una inversión interesa o no llevarla a cabo, es decir:

$r > k$: La inversión interesa realizarla por que incrementa la riqueza de la empresa. Su rentabilidad es superior a la rentabilidad de la inversión financiera o inversión de comparación. O, equivalentemente, la tasa de rentabilidad de la inversión es superior al coste de los recursos financieros.

$r < k$: La inversión no interesa realizarla, porque de llevarla a cabo, disminuiría la riqueza de la empresa.

$r=k$: La inversión es neutral, es decir, no influye en la riqueza de la empresa y, por tanto, a ésta desde el punto de vista económico le da igual realizarla que no.

1.3.3.- El modelo input-output de demanda

Para determinar los efectos de la implantación del sistema automático de amarre en el Puerto de Santander sobre los diferentes sectores de la economía de Cantabria hemos utilizado como herramienta básica el modelo input-output de demanda que nos ha permitido obtener coeficientes y multiplicadores, que explican tales efectos (Henry and Martin, 1984; Batey and Rose, 1990; Pulido and Fontela, 1993; Sarabia et al., 1993; Duchene, 1994; Sarabia et al., 2001; Pérez-Labajos, 2001, 2005). La utilidad de este modelo radica en su adecuación para cuantificar los efectos globales que produce una “inyección” adicional de demanda (en este caso la inversión y el gasto del sistema automático de amarre) sobre el conjunto de la economía y sobre cada una de las ramas de actividad que la componen. Simplificando, se puede decir que su principal aportación respecto a otras técnicas de análisis y previsión (modelos econométricos, etc.) consiste en su habilidad para recoger, con un amplio detalle sectorial, el conjunto de efectos de realimentación que vía demanda intermedia se producen en el sistema económico a partir de un *shock* inicial de la demanda final. En definitiva, se puede decir que el análisis input-output “reconoce” un hecho obvio hasta cierto punto, pero a menudo olvidado: que los efectos de la demanda sobre el sistema económico no se agotan en la simple satisfacción directa de dicha demanda, sino que se transmiten y difunden al resto de actividades gracias al entramado de interrelaciones dominantes en aquél. De esta manera, gracias al análisis input-output es posible cuantificar todas las repercusiones que genera un aumento de la demanda del sector portuario en las macro magnitudes de actividades en principio desconectadas de ella.

Esquemáticamente se puede decir que el juego de interacciones que desencadena la demanda final funciona de la siguiente manera:

- El impacto de la demanda portuaria sobre el sistema económico no se agota en el primer ciclo de transacciones (los efectos “directos”), ya que los primeros proveedores de la demanda portuaria (navieras, consignatarias, cargadores, transportistas, etc.) deberán aumentar necesariamente los pedidos a sus proveedores (energía, industria de reparaciones, mantenimiento, etc.); éstos para satisfacer esta demanda adicional pondrán en marcha un segundo ciclo de transacciones, ya que deberán incrementar a su vez los pedidos a sus proveedores. Estos “efectos indirectos”

procedentes de la segunda y sucesivas rondas de transacciones se repetirán sucesivamente, disminuyendo los impulsos en cada fase de transacciones, hasta alcanzar un punto en el que se agotan.

- En realidad los efectos de la demanda final en el sistema económico tampoco se agotan en esta fase, ya que los efectos directos e indirectos terminarán generando, lógicamente, un aumento en las rentas de las empresas y hogares que se podrá traducir en un mayor consumo y en un incremento en la inversión, que, a su vez, iniciarán un nuevo ciclo de “efectos inducidos”.

En resumen, la demanda portuaria genera una sucesión de impactos encadenados que interactúan en el sistema de forma reiterativa y dinámica, de tal manera que al final del proceso el impulso inicial ha generado un “efecto multiplicador” sobre el conjunto del sistema económico.

Como es sabido, una Tabla input-output es un cuadro de doble entrada que ofrece una visión integrada de las relaciones existentes entre las ramas productivas (agricultura, transportes, energía, etc.), partidas de la demanda final (consumo privado, formación bruta de capital, exportaciones, etc.) e inputs primarios (sueldos y salarios, excedente bruto de explotación, etc.). La Tabla recoge gráficamente el entramado de equilibrios contables que se producen entre los recursos utilizados por las empresas para desarrollar su actividad y los empleos que proporcionan al resultado de dicha actividad; es decir, (de forma simplificada):

$$\text{Recursos} = \text{producción} + \text{importaciones} = \text{demanda intermedia} + \text{demanda final} = \text{Empleos}$$

Este modelo se puede expresar como un sistema de ecuaciones lineales del siguiente tipo

$$\begin{aligned} X_1 &= x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1n} + Y_1 \\ X_2 &= x_{21} + x_{22} + \dots + x_{2n} + Y_2 \\ &\dots\dots\dots \\ X_n &= x_{n1} + x_{n2} + \dots + x_{nm} + Y_n \end{aligned} \quad (4)$$

Siendo

- X_i = producción efectiva de la rama i
- x_{ij} = compras de la rama j a la rama i

Y_i = Demanda final total de productos de la rama i

Es decir, los recursos (producción e importaciones) de cada rama (1,2,..., i,..., n) se destinan, bien a la demanda intermedia (X_{ij}), o bien a la demanda final (Y_i).

Dividiendo cada uno de los consumos intermedios (x_{ij}) de cada rama por su producción efectiva (X_j) se obtienen los denominados coeficientes técnicos de producción (a_{ij}), es decir:

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{X_j} \quad (5)$$

$$a_{ij} = \frac{\text{compras que hace la rama } j \text{ a la } i}{\text{producción de } j}$$

Por tanto los coeficientes técnicos a_{ij} sólo representan qué proporción (en tanto por uno) de la producción efectiva de la rama j procede de la rama i ; dicho de otra forma: cuántas unidades de la producción de i son necesarias para producir una unidad de j .

Los coeficientes técnicos se pueden expresar también de la siguiente forma:

$$x_{ij} = a_{ij} X_j$$

Lo cual permite sustituir los consumos intermedios (x_{ij}) en el sistema de ecuaciones anterior obteniéndose:

$$\begin{aligned} X_1 &= a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n + Y_1 \\ X_2 &= a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n + Y_2 \\ &\dots\dots\dots \\ X_n &= a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \dots + a_{nn}X_n + Y_n \end{aligned} \quad (6)$$

El sistema expresado en forma matricial: $X = AX + Y$

$X = \begin{pmatrix} X_1 \\ \dots \\ X_i \\ \dots \\ X_n \end{pmatrix}$ Es el vector de producciones

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \text{ Es la matriz de coeficientes técnicos}$$

$$Y = \begin{pmatrix} Y_1 \\ \dots \\ Y_i \\ \dots \\ Y_n \end{pmatrix} \text{ Es el vector de demanda final}$$

Despejando la demanda final se obtiene

$$(I-A) X = Y; \text{ siendo } I \text{ la matriz identidad}$$

$$X = (I-A)^{-1} Y$$

$$X_i = \alpha_{i1} Y_1 + \alpha_{i2} Y_2 + \dots + \alpha_{ii} Y_i + \dots + \alpha_{in} Y_n \quad (7)$$

Por tanto, el modelo de demanda expresa la producción de la rama i como una combinación lineal de las demandas finales de los productos de todas las ramas del sistema (incluida la suya propia).

La matriz $(I-A)^{-1}$, denominada inversa de Leontief, es la herramienta que sustenta el análisis de los impactos de “demanda”, ya que es capaz de generar el vector de producciones a partir del vector de la demanda final. Por consiguiente, multiplicando un incremento dado (estimado o conocido) en dicha demanda final por la matriz inversa de Leontief se obtendrá la variación que dicho aumento genera en las producciones de cada rama, es decir, el impacto (incluyendo efecto inicial, directos e indirectos) asociado a dicha variación en la demanda final.

La matriz inversa de Leontief se compone de los siguientes elementos:

$$(I - A)^{-1} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \dots & \alpha_{1j} & \dots & \alpha_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{i1} & \dots & \alpha_{ij} & \dots & \alpha_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n1} & \dots & \alpha_{nj} & \dots & \alpha_{nn} \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} 1 - a_{11} & \dots & -a_{1j} & \dots & -a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -a_{i1} & \dots & 1 - a_{ij} & \dots & -a_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -a_{n1} & \dots & -a_{nj} & \dots & 1 - a_{nn} \end{pmatrix}^{-1}$$

Cada elemento α_{ij} de la inversa expresa cuánto tiene que aumentar la producción de i si se desea satisfacer una unidad de demanda final de productos de la rama j , resumiendo las necesidades derivadas de los efectos inicial, directo e indirecto. Por tanto, la suma de los elementos de la columna j de dicha matriz (denominada multiplicador del output) expresa cuánto tendrá que incrementarse la producción global del sistema productivo para satisfacer un aumento de una unidad en la demanda final de productos de la rama j .

Los multiplicadores α_{ij} pueden calcularse desde una perspectiva global (es decir, considerando los requerimientos totales de consumos intermedios, tanto los que suministran las empresas residentes como los importados) o interior (considerando únicamente los inputs suministrados por las empresas residentes). En el presente trabajo determinaremos ambos aunque debemos puntualizar que los multiplicadores interiores, al margen de consideraciones tecnológicas, son los que permiten aproximar las repercusiones efectivas que tendría sobre el sistema productivo interior un incremento dado de la demanda final. En definitiva, las importaciones de consumos intermedios que realicen las empresas residentes funcionan como “fugas” del efecto multiplicador. A este respecto conviene señalar que en este tipo de ejercicios se debe considerar como impulso inicial únicamente el efectivamente dirigido a empresas locales, ya que la satisfacción de una mayor demanda final mediante importaciones finales constituye la primera fuga del efecto total. Por tanto, debería deducirse de la demanda final aquella fracción que se destinará a empresas no residentes.

Es preciso señalar ciertas matizaciones sobre el desarrollo anterior, ya que en realidad parte de una simplificación del balance global recursos/empleos que recoge una TIO. Hay que tener en cuenta que dicho balance es en realidad:

$\begin{aligned} \text{Recursos} &= \text{producción efectiva} + \text{transferencias} + \text{importaciones equivalentes} + \text{IVA} + \\ &\text{impuestos netos ligados a la importación} = \text{demanda intermedia interior} + \text{demanda intermedia} \\ &\text{importada} + \text{demanda final interior} + \text{demanda final importada} = \text{Empleos} \end{aligned}$
--

Por tanto, la notación X_i y la denominación “producción” pueden hacer referencia bien a los recursos totales de la rama i , o bien a los recursos interiores (producción efectiva, transferencias, IVA que grava los productos e impuestos netos ligados a la importación), según la perspectiva que interese. La fórmula habitual para obtener el vector de

producciones efectivas consiste en aplicar el vector de demanda final interior (neta de IVA y de transferencias) sobre la matriz inversa de coeficientes técnicos de producción interiores.

1.3.4.- Los multiplicadores de la demanda de servicios automáticos de atraque

El modelo de demanda se aplicó sobre los distintos vectores de valores absolutos de la TIOCAN-2007 (Tabla Input-Output de Cantabria), a fin de cuantificar los efectos que produjo el sistema automático de amarre sobre el resto del sistema económico. La estructura de interrelaciones implícita en la TIOCAN-2007 (recogida fundamentalmente por la matriz de coeficientes técnicos y por la inversa de Leontief) permite expresar estos efectos en forma de coeficientes (o multiplicadores, según la terminología habitualmente utilizada), de manera que, una vez calculados, pueda utilizarse la TIOCAN-2007 como herramienta de previsión de los impactos potenciales que podría ocasionar la demanda portuaria (conocida o estimada) sobre el sistema económico.

Hemos centrado nuestra atención en los multiplicadores de las cinco variables que consideramos más relevantes: producción, valor añadido bruto, excedente bruto de explotación, remuneración de asalariados y empleos. La primera gama de multiplicadores que se podría obtener para cada rama de actividad resultaría de cruzar entre sí los elementos que se reflejan en la Tabla 1 de doble entrada.

Tabla 1. Efectos del sistema de amarre automático

<i>Variables</i>	<i>Efectos del sistema de amarre automático</i>		
	<i>Directos</i>	<i>Indirectos</i>	<i>Totales</i>
<i>Producción Efectiva</i>			
<i>Valor Añadido Bruto</i>			
<i>Excedente Bruto de Explotación</i>			
<i>Remuneración Asalariados</i>			
<i>Empleos (ocupados)</i>			

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que tales multiplicadores se determinarán tanto para la producción interior como global, para cada una de las 10 ramas de actividad, el número de ellos a determinar asciende a 300 para cada período.

El proceso de cálculo para cada tipo de coeficiente o multiplicador es similar, y se basa en lo que se ha denominado “coeficientes interiores de demanda portuaria”, por un lado, y en la matriz inversa de Leontief por otro.

Para calcular los diferentes coeficientes de impacto de la demanda portuaria se parte de la distribución de la demanda portuaria interior (deducidas las importaciones finales) por ramas productivas, es decir, lo que por analogía con los coeficientes técnicos interiores de producción se podría denominar “coeficientes interiores de la demanda portuaria”.

Para ello, basta con tomar la demanda portuaria y dividir el consumo final portuario interior por el montante global (incluyendo importaciones finales) de la categoría de demanda portuaria que corresponda. De esta manera se obtiene una matriz de coeficientes que permite “distribuir” por ramas la demanda portuaria global y “depurarla”, es decir, discriminar la porción de consumo portuario que efectivamente será satisfecho con recursos interiores y no con importaciones.

Para cada rama de actividad se calculan los siguientes coeficientes:

$$T_i^* = \frac{CTT_i - CTTM_i}{\sum_i CTT_i} \quad (8)$$

Siendo:

T_i^* = Coeficiente interior de la demanda portuaria total satisfecha por la rama i

CTT_i = Consumo portuario total (CTT) satisfecho por la rama i (incluye importaciones)

$CTTM_i$ = CTT de productos de la rama i satisfecho con importaciones finales

$\sum_i CTT_i$ = demanda portuaria total

Procediendo de igual manera para cada una de las ramas de actividad, se obtiene la matriz de “coeficientes interiores” de la demanda portuaria total, que permite delimitar a partir

$$T^* = \begin{pmatrix} T_1^* \\ \dots \\ T_i^* \\ \dots \\ T_n^* \end{pmatrix}$$

De una cifra dada de demanda portuaria global, qué porción va a incidir directamente en la producción interior de cada rama de actividad; dicho de otra manera, cuantifica, en

forma de coeficientes, los efectos directos de la demanda portuaria total sobre la producción.

La matriz columna resultante de efectuar el producto $(I-A)^{-1}T^*$ proporciona los multiplicadores sectoriales totales de producción derivados de la demanda portuaria; cada uno de ellos medirá el incremento de producción que debe suministrar la rama i por cada euro adicional de demanda portuaria global; la suma de todos ellos proporcionará lógicamente, el total de la producción que se genera en el conjunto del sistema a partir de la demanda portuaria, es decir, en qué cantidad deberá aumentar la producción de la economía para satisfacer una unidad adicional de demanda portuaria.

De forma análoga se pueden calcular los multiplicadores o coeficientes de la demanda portuaria sobre las restantes macro magnitudes: valor añadido bruto (VAB), excedente bruto de explotación (EBE) y remuneración de asalariados (RA).

Para ello basta con calcular previamente las siguientes matrices de coeficientes que se obtienen de diagonalizar los correspondientes vectores de la matriz de inputs primarios.

$$\text{Coeficientes del VAB: } VAB^* = \begin{pmatrix} VAB_1^* & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & VAB_2^* & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & VAB_j^* & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & VAB_n^* \end{pmatrix} \text{ donde } VAB_i^* = \frac{VAB_i}{\text{Producción}_i}$$

$$\text{Coeficientes del EBE: } EBE^* = \begin{pmatrix} EBE_1^* & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & EBE_2^* & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & EBE_j^* & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & EBE_n^* \end{pmatrix} \text{ donde } EBE_i^* = \frac{EBE_i}{\text{Producción}_i}$$

$$\text{Coeficientes del RA: } RA^* = \begin{pmatrix} RA_1^* & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & RA_2^* & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & RA_j^* & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & RA_n^* \end{pmatrix} \text{ donde } RA_i^* = \frac{RA_i}{\text{Producción}_i}$$

Puesto que la matriz T^* proporciona los efectos directos de la demanda portuaria sobre cada una de las ramas de actividad, el producto de cada elemento de esta matriz por el correspondiente coeficiente de valor añadido proporcionará los efectos directos de la demanda portuaria sobre el valor añadido de la rama de actividad correspondiente.

De igual manera, se pueden calcular los efectos directos de la demanda portuaria que interese sobre las restantes macro magnitudes (EBE, remuneración de asalariados, etc.).

Por otro lado, con el producto $(I-A)^{-1}T^*$ se obtenían los multiplicadores sectoriales (y por agregación el total) totales (efectos directos más indirectos) de la demanda portuaria sobre la producción. Basta efectuar el producto de cada uno de estos multiplicadores por el coeficiente correspondiente a la macro magnitud que interese (valor añadido bruto, remuneración de asalariados, importaciones...) para obtener los multiplicadores totales (efectos directos más indirectos) de la demanda portuaria sobre el valor añadido bruto (multiplicador total de la renta portuaria), el excedente bruto de explotación, etc. Por agregación de todos ellos se obtuvo el multiplicador global que hace referencia al conjunto del sistema económico.

Por último, para calcular los efectos indirectos de la demanda portuaria sobre las diferentes macro magnitudes basta restar el coeficiente correspondiente a los efectos directos del multiplicador de efectos totales.

El modelo input-output regional

Se trata de una herramienta analítica fundamental para el conocimiento de la estructura productiva de una región en un momento determinado. A través de ella se pone de manifiesto el peso relativo que ocupan las diferentes ramas productivas en la economía de referencia, las interrelaciones que existen entre los diferentes sectores, sus vinculaciones con otras áreas económicas a través de los flujos de entrada y salida de bienes y servicios, la orientación de las producciones hacia otras actividades, o hacia el consumo final y la inversión, así como el valor añadido y su distribución entre los factores primarios que intervienen en los procesos productivos.

La modelización input-output regional se basa en una Tabla de doble entrada que suele presentar la siguiente estructura.

Tabla 2. Estructura de una Tabla input-output regional

MATRIZ DE DEMANDA INTERMEDIA							MATRIZ DE DEMANDA FINAL							
Ramas	1	...	j	...	n	OI	CP	CF	FBCF	VE	X	DF	OUTPUTS TOTALES	OT
1	X ₁₁	...	X _{1j}	...	X _{1n}	OI ₁	CP ₁	CF ₁	FBCF ₁	VE ₁	X ₁	DF ₁		OT ₁
...
i	X _{i1}	...	X _{ij}	...	X _{in}	OI _i	CP _i	CF _i	FBCF _i	VE _i	X _i	DF _i		OT _i
...
N	X _{N1}	...	X _{Nj}	...	X _{Nn}	OI _N	CP _N	CF _N	FBCF _N	VE _N	...	DF _N		OT _N
CI	CI ₁	...	CI _j	...	CI _n	OI _T	CP _T	CF _T	FBCF _T	VE _T	X _T	DF _T		OT _T
MATRIZ DE IMPUTS PRIMARIOS														
RA	RA ₁	...	RA _j	...	RA _n	RA _T								
T	T ₁		T _j		T _n	T _T								
EBE	EBE ₁		EBE _j		EBE _n	EBE _T								
IMP	IMP ₁	...	IMP _j	...	IMP _n	IMP _T								
IMPUTS TOTALES														
IT	IT ₁	...	IT _j	...	IT _n	IT _T								

Significado de las magnitudes:

X_{ij} = Compras de productos de la rama "i" efectuados por la rama "j".

CI_j = Consumos intermedios de la rama "j".

OI_i = Output intermedio de la rama "i".

OI_T = Output intermedio Total = Consumo intermedio Total.

RA_j = Remuneración de asalariados pagados por la rama "j".

RA_T = Remuneración de asalariados Total.

T_j = Impuestos ligados a la producción pagados por la rama "j".

T_T = Total de impuestos.

EBE_j = Excedente Bruto de Explotación de la rama "j".

EBE_T = Excedente Bruto de Explotación Total.

IMP_j = Importaciones equivalentes a la rama "j".

IMP_T = Total de importaciones.

IT_j = Imputs Totales de la rama "j".

IT_T = Imputs Totales

CP_i = Aportación de la rama “i” al consumo colectivo.

CP_T = Consumo colectivo Total.

CF_i = Aportación de la rama “i” al consumo privado.

CF_T = Consumo privado Total.

$FBCF_i$ = Formación Bruta de Capital Fijo de la rama “i”.

$FBCF_T$ = Formación Bruta de Capital fijo Total.

VE_i = Aportación de la rama “i” a la variación de existencias.

VE_T = Variación Total de existencias.

X_i = Exportaciones de la rama “i” al resto del mundo.

X_T = Total de Exportaciones.

DF_i = Aportación Total de la rama “i” a la demanda final.

DF_T = Demanda Final Total

OT_i = Output Total de la rama “i”.

OT_T = Output Total.

1.4.- Plan de trabajo

Para alcanzar los objetivos propuestos se planteó el siguiente plan de trabajo en el cual se pueden diferenciar cuatro partes.

La Parte I titulada “Introducción general” se ha dividido en dos capítulos. En el capítulo 1 “Organización de la investigación” se estudian los antecedentes y también se plantean los objetivos, hipótesis, metodología y plan de trabajo.

En el capítulo 2 titulado “Estado del arte: Los sistemas de amarre automáticos” se hace un análisis de la evolución histórica de los equipos de amarre automáticos ya que se ha basado en las distintas patentes encontradas.

En la Parte II titulada “Los sistemas de amarre en el mundo” se desarrollan los capítulos 3 y 4.

En el capítulo 3 “Análisis del sistema de amarre automático: ventajas e inconvenientes” se analizan las características de los distintos tipos del sistema de amarre automático por ventosas de vacío que existen en el mercado.

En el capítulo 4 “Implantación en el mundo del sistema de amarre automático” se hace un análisis de la presencia de estos tipos de sistemas de amarre automáticos en el mundo.

La parte III titulada “Selecciones en el escenario real. El puerto de Santander” se desarrolla en los capítulos 5, 6 y 7.

En el capítulo 5 “Selección de un muelle del puerto de Santander” se seleccionan los muelles del puerto de Santander para la instalación del sistema de amarre automático, y se describen estos muelles Raos 8 y Raos 9 y se calculan las sobrecargas de operaciones y los efectos de viento sobre los barcos en el muelle.

En el capítulo 6 “Selección del modelo a instalar en el puerto de Santander y presupuesto” se describe el modelo del sistema de amarre automático a instalar en los muelles seleccionados y el presupuesto de instalación.

Por último en el capítulo 7 “El servicio de amarre en el puerto de Santander” se describe el servicio de amarradores del puerto de Santander.

En la Parte IV titulada “Resultados de la investigación” se desarrollan los capítulos 8, 9, 10 y 11.

En el capítulo 8 titulado “Diseño y resultados de la simulación” se hace el análisis empírico, se describen el planteamiento del estudio empírico y las simulaciones realizadas y se analizan los resultados.

En el capítulo 9 “Análisis económico-financiero del sistema de amarre automático” se analizan los resultados económicos de su puesta en práctica, en los escenarios previstos, y se determina la posibilidad que tiene el proyecto de desarrollarse.

En el capítulo 10 “Impactos socioeconómicos de la implantación del sistema de amarre automático en Cantabria (2014)” se determinan los efectos socioeconómicos que origina dicha infraestructura en la economía regional de Cantabria.

Por último en el capítulo 11 “Consecuencias medioambientales” se ven los efectos que produce en el medioambiente la utilización del sistema de amarre automático.

Para terminar con la tesis se exponen las conclusiones.

CAPÍTULO 2.- ESTADO DEL ARTE: LOS SISTEMAS DE AMARRE AUTOMÁTICOS

A lo largo de la historia, los buques han utilizado sistemas convencionales de amarre para atracar en un muelle, en esta tesis se presentarán de forma cronológica distintos sistemas de amarre automático, que se han ido inventando para facilitar el amarre, tanto de embarcaciones de recreo, pesqueros como de buques mercantes (Huang and Wang, 2008^a; Huang and Wang, 2008^b).

Creemos que se hace necesaria la investigación e invención de nuevos sistemas de amarre automáticos debido a los siguientes condicionantes:

- ✓ Aumento del tamaño de los buques.
- ✓ Disminución del número de tripulantes a bordo.
- ✓ Necesidad de abaratar los gastos de las cuentas de escala.
- ✓ Disminución del tiempo de estancia en puerto.
- ✓ Aumentar la seguridad en las maniobras.

Por supuesto que la aplicación de estos sistemas se hará siempre sin disminuir ni perjudicar la seguridad, durante la realización de las maniobras de atraque y desatraque, ni durante la estancia de los buques en puerto (Fang et al., 2015; He et al., 2015).

En este capítulo se describen los antecedentes históricos, que han llevado a desarrollar un sistema de amarre automático mediante ventosas, que está funcionando actualmente en muchos puertos de todo el mundo (Jin et al., 2014). El sistema es el “Moormaster” de la empresa Cavotec.

A lo largo de la historia, se pueden descubrir distintas patentes, que van mostrando el camino hasta el nuevo sistema desarrollado por Cavotec que es el que se tratará en esta tesis mediante la patente de Montgomery (Montgomery, 2001).

Debido a la escasez de información sobre los equipos de amarre automático, se ha tenido problemas a la hora de buscar bibliografía y estudiar los antecedentes históricos y evolución de los sistemas de amarre automático, solo se han encontrado las siguientes referencias, independientes de las patentes: (Baan, 1983; Orive et al., 2011; Caro, 2014, Caro, et al., 2011).

Como ya se ha mencionado se han encontrado más de mil patentes de sistemas de amarre automático que hemos estudiado, elaborando una base de datos en Excel para gestionarlas. Algunas eran las mismas con distintos nº de patente, otras eran patentes de piezas de los sistemas de amarre, a través de la base de datos hemos filtrado cuales eran realmente útiles para este estudio. Al final hemos seleccionado veintiocho que son las que desarrollaremos a continuación.

2.1.- Antecedentes: primeros dispositivos aplicados a los buques

La investigación de los nuevos sistemas de amarre automático, en un principio se centró en la náutica de recreo ya que las primeras patentes que se encuentran de sistemas de amarre automáticos son de sistemas de amortiguamiento basados en resortes, y todas ellas tienen en común que están diseñadas para embarcaciones de recreo. Finalmente la investigación derivó hacia los sistemas por ventosas.

2.1.1.- Sistemas de amortiguamiento basados en resortes

A partir de 1914 se empiezan a desarrollar distintos sistemas de amarre por mecanismos distintos de los convencionales para embarcaciones de recreo, que se muestran a continuación.

2.1.1.1.- Sistema de sujeción para barcos de Steinhauer 1914.

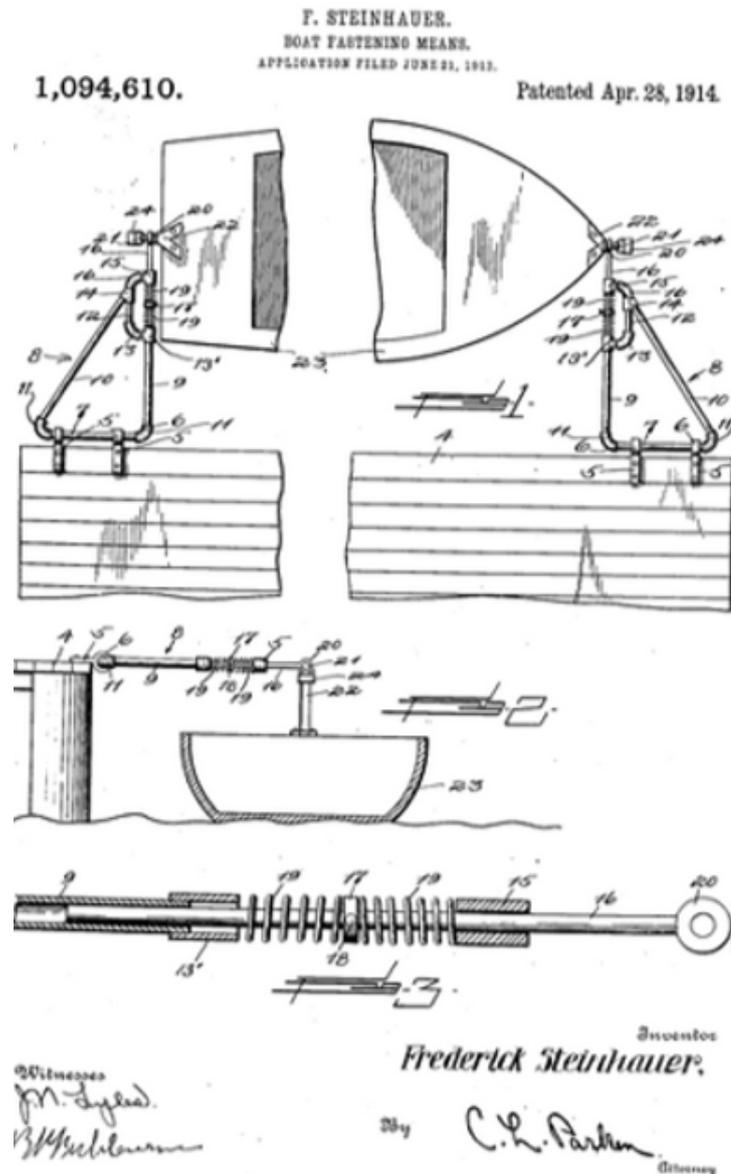
La patente titulada “Boat Fastening means” (Sistema de sujeción para barcos) de Steinhauer (Steinhauer, 1914) es la primera que encontramos, en esta se describe un sistema de amarre para buques de recreo al muelle, que sustituye los cabos de proa y popa por un sistema electrónico y permite al barco moverse con los 6 grados de libertad. El sistema absorbe los choques, producidos por acción de las olas, del buque contra el muelle.

Este sistema es barato y fácil de manejar desde el barco, es un sistema amortiguamiento basado en resorte.

El sistema utiliza unos tubos y varillas que hacen que el barco quede amarrado al muelle, haciendo estos las veces de largos, traveses y esprines.

La absorción de los movimientos del barco se hace mediante unos resortes como se puede observar en la Ilustración 5.

Ilustración 5. Sistema de sujeción para barcos.



Fuente: Patente de Steinbauer de 1914

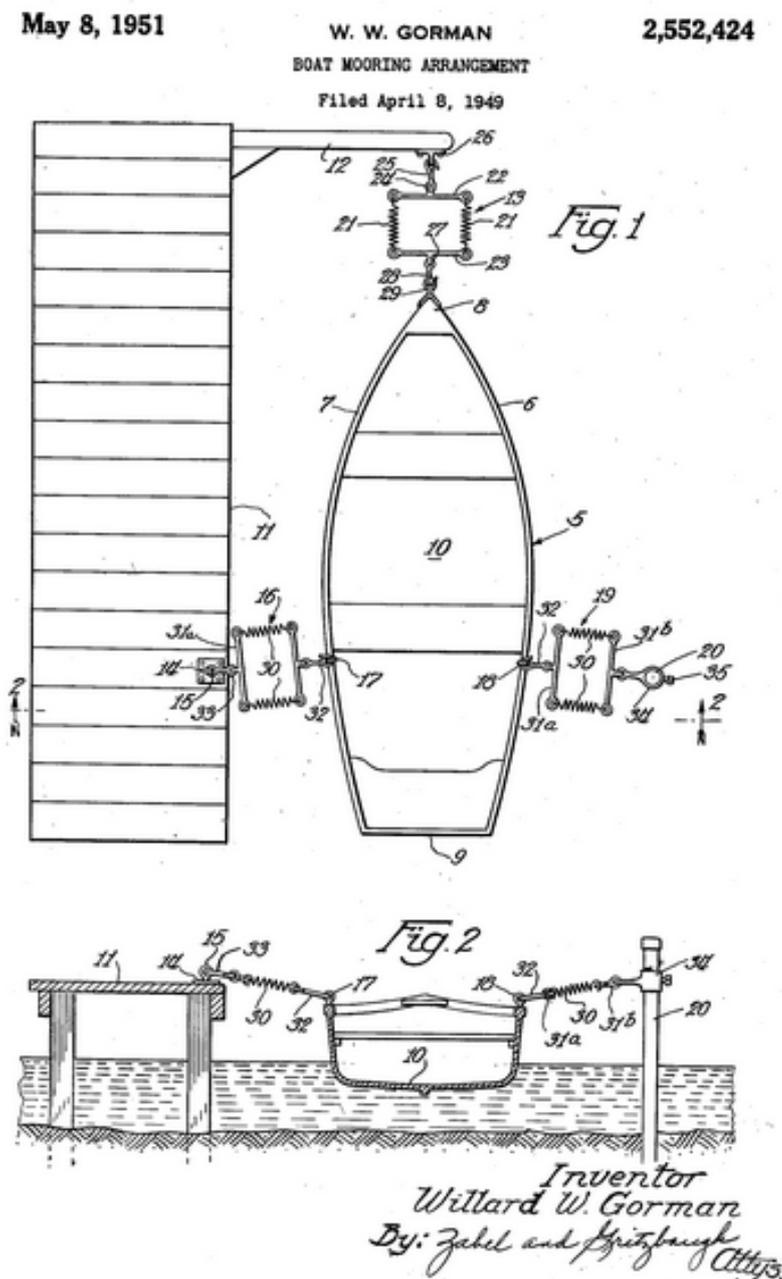
2.1.1.2.- Dispositivo para amarre de buques de Gorman 1951.

La patente “Boat Mooring Arrangement” (Dispositivo para amarre de buques) de Gorman (Gorman, 1951^a) muestra un dispositivo de amarre automático, también para embarcaciones de recreo. El barco queda firme por proa y por ambos costados, uno de los costados queda amarrado al muelle y el otro a un pilote que esta hincado en el fondo y del que está sujeto el sistema de amarre.

Este sistema proporciona flexibilidad suficiente para que el barco pueda moverse sin problema cuando hay mal tiempo o mucho oleaje.

En este sistema como en el anterior se utilizan resortes para amortiguar los movimientos.

Ilustración 6. Dispositivo para amarre de buques.



Fuente: Patente de Gorman de 1951^a.

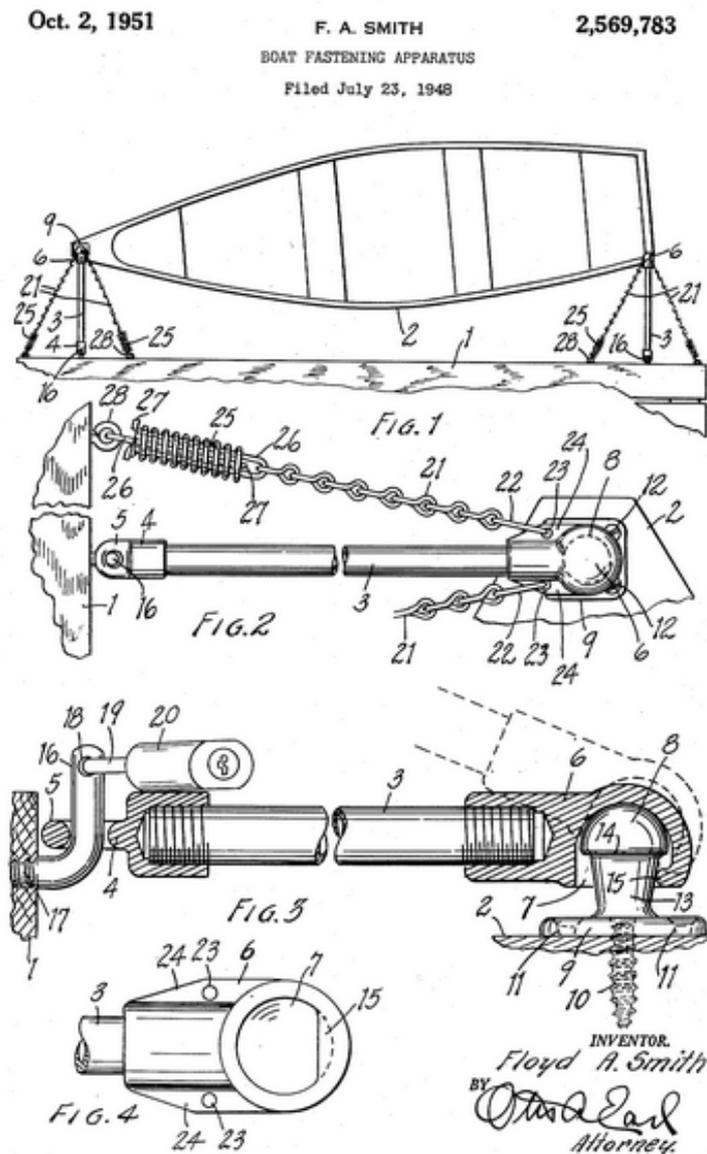
2.1.1.3.- Equipos de fijación para barcos de Smith 1951^b.

En esta patente de Smith (Smith, 1951^b) titulada “Boat fastening apparatus” (Equipos de fijación para barcos) se describe un sistema de amarre automático, como las anteriores es

para embarcaciones de recreo, y de amortiguamiento basado en resorte. Con este sistema de amarre el barco queda amarrado por proa y popa.

En este sistema se introducen un nuevo componente como son las cadenas.

Ilustración 7. Equipos de fijación para barcos.



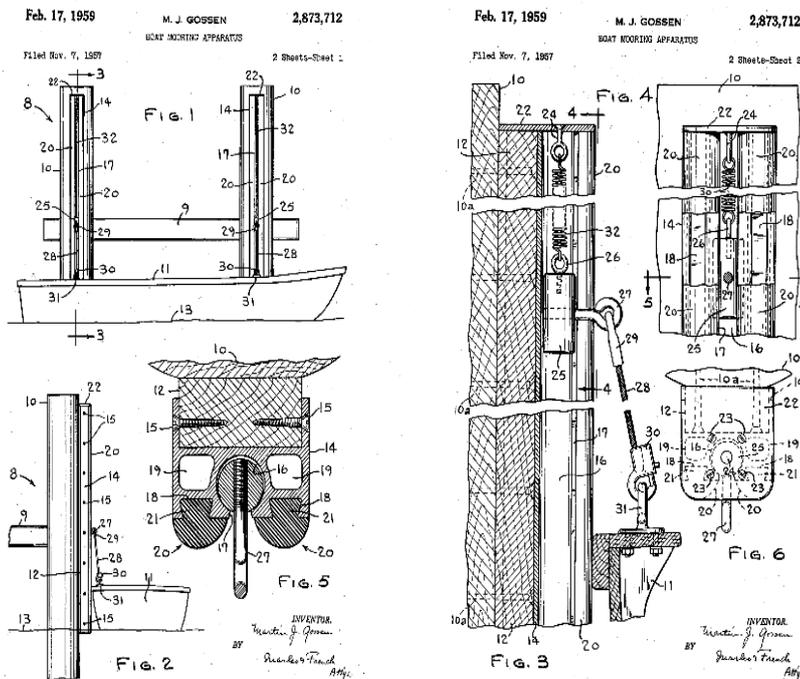
Fuente: Patente de Smith de 1951^b.

2.1.1.2.- Sistemas intermareales.

El sistema intermareal que describe la patente de Gossen (Gossen, 1959) titulada “Boat mooring apparatus” (Sistema de amarre para embarcaciones) se puede utilizar a diferencia de los anteriores también para buques mercantes.

En este sistema se ve que los elementos de amarre automático, están ubicados en el muelle y cuentan con unos railes verticales, sobre los que se desliza para poder desplazarse verticalmente y adaptarse a los cambios de la marea, no es para muelles donde entre mucho oleaje.

Ilustración 8. Sistema de amarre para embarcaciones.



Fuente: Patente de Gossen de 1959.

2.1.2.- Primer sistema por ventosas.

Este es el primer sistema de sujeción por ventosas de vacío entre dos buques que se encuentra es la patente de Standwick (Standwick, 1965) “Method and apparatus for maneuvering ships” (Método y sistema para maniobrar buques).

En esta patente se define un sistema mediante brazos de vacío instalados sobre un remolcador, para remolcar buques de grandes dimensiones sin utilizar cabos ni cables de remolque.

Este no es un sistema de amarre propiamente dicho ya que no está instalado en un muelle, pero sirve de referencia a los siguientes sistemas que se irán describiendo.

Esta patente será citada en todas las patentes que describen el sistema de amarre automático desarrollado por Cavotec a partir de las distintas patentes de Montgomery como se puede ver en la Tabla 3.

Tabla 3. Patentes que citan a la de Standwick de 1965.

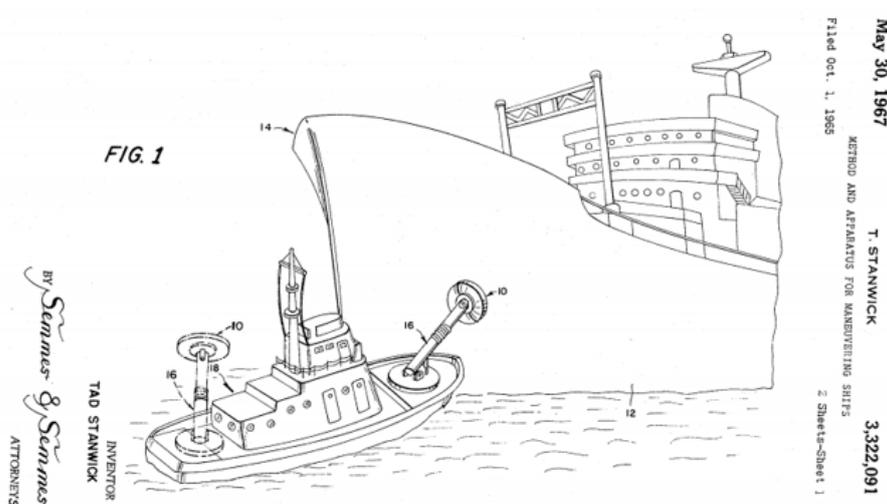
AÑO	TITULO	AUTORA
2001	DISPOSITIVO DE AMARRE	HADCROFF J. / MONTGOMERY P.J
2002	ROBOT DE AMARRE	MONTGOMERY P.J./ ROSITER B.J.
2003	DISPOSITIVO DE AMARRE DE BARCOS	MONTGOMERY P.J./ ROSITER B.J.
2005	ROBOT DE AMARRE	MONTGOMERY P.J./ ROSITER B.J.
2007	SISTEMA DE AMARRE AUTOMATICO CON CONTROL REMOTO	MONTGOMERY P.J./ ROSITER B.J.
2009	SISTEMA DE AMARRE Y MEDIOS RELACIONADOS	MONTGOMERY P.J.
2012	SISTEMA DE AMARRE AUTOMATICO CON CONTROL REMOTO	MONTGOMERY P.J./ ROSITER B.J.
2013	ESCANEEO LASER PARA ROBOT DE AMARRE	MONTGOMERY P.J.
2013	METODO DE AMARRE AUTOMATIZADA Y SISTEMA DE AMARRE	MONTGOMERY P.J.

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando este sistema se ahorra:

- Tiempo pues es un sistema mucho más rápido que el convencional se tarda menos tiempo en hacer firme el remolcador al buque y también la liberación es mucho más sencilla y rápida. El remolcador se aproxima al buque acerca el brazo de vacío, lo coloca sobre el casco y acciona el sistema de vacío para hacerle firme. Para largar basta con desacoplar el brazo de vacío.
- Personal, pues ya no es necesario tener personal ni en el barco ni en el remolcador para dar los cabos de remolque, ni para arriarlos, porque en este sistema no se necesitan cabos.
- Material, ya no son necesarios en el remolcado, cabos ni cables de remolque, y si en el barco solo se realizasen maniobras con estos tipos de remolcador, tampoco sería necesario.

Ilustración 9. Método y sistema para maniobrar buques.



Fuente: Patente de Standwick de 1965.

2.2- Primera generación en sistemas de amarre automático por ventosas de vacío para buques mercantes

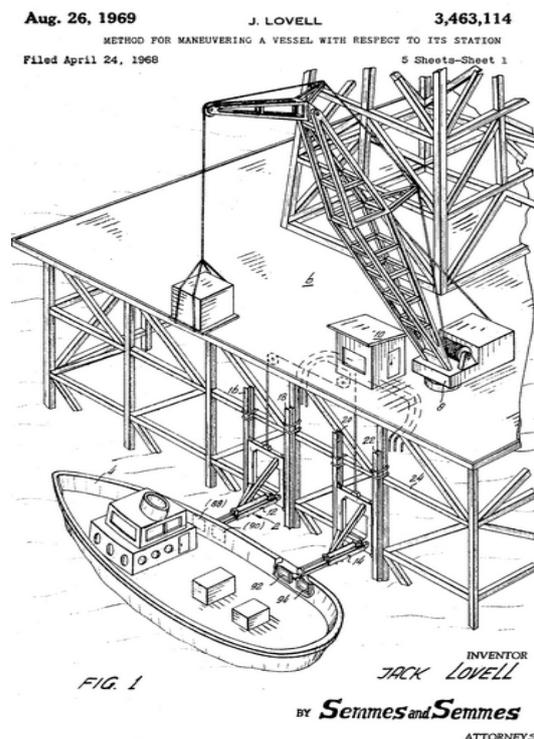
En 1969 aparece lo que hemos denominado la primera generación de sistemas de amarre automático por ventosas. A partir de este momento el análisis lo iremos estructurando en diferentes generaciones cuando se produzca una innovación tecnológica en el sistema. Cualquier otro cambio significativo, pero que no suponga innovación, lo planteamos como una mejora tecnológica del sistema.

En esta primera generación únicamente se diseña un sistema que se desarrolla en el epígrafe siguiente.

2.2.1.- Procedimiento de maniobra de buques respecto a su atraque de Lovell 1969.

Esta patente está basada en la tecnología anterior de sujeción mediante ventosas de vacío, pero esta vez se utiliza para atracar el buque al muelle.

Ilustración 10. Procedimiento de maniobra de buques respecto a su atraque.

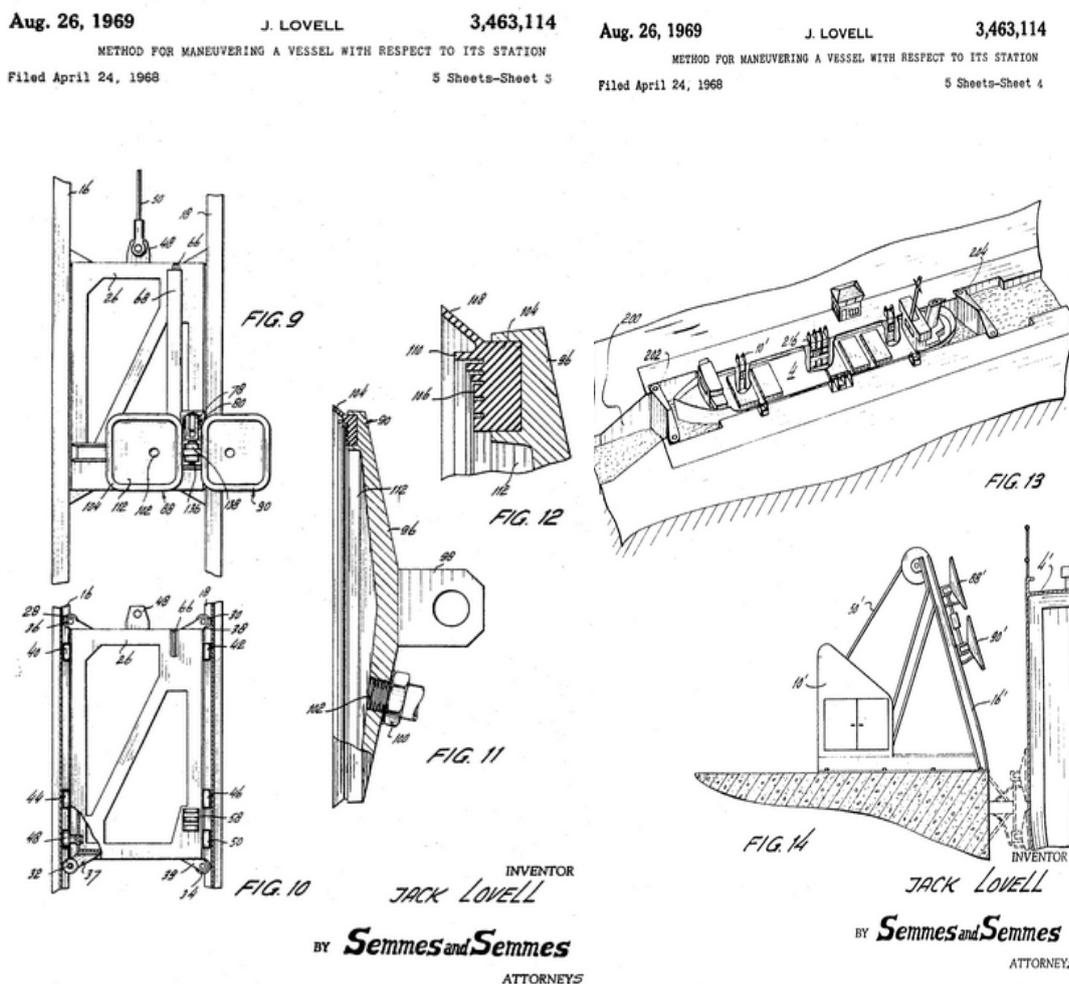


Fuente: Patente de Lowell de 1969.

Esta patente se titula “Method for maneuvering a vessel with respect to its station” (Procedimiento de maniobra de buques respecto a su atraque) el autor es Lowell (Lovell, 1969) en ella describe un sistema para atracar buques mercantes a un muelle, para poder realizar las operaciones de carga y descarga sin necesidad de utilizar los cabos tradicionales.

Como se puede advertir en las ilustraciones 11, 12 y 13 el buque está atracado y el muelle o la plataforma queda a bastante altura. En el muelle o plataforma se distingue una estructura que se desliza verticalmente sobre raíles de manera que el buque puede subir o bajar con la marea.

Ilustración 11. Procedimiento de maniobra de buques respecto a su atraque.

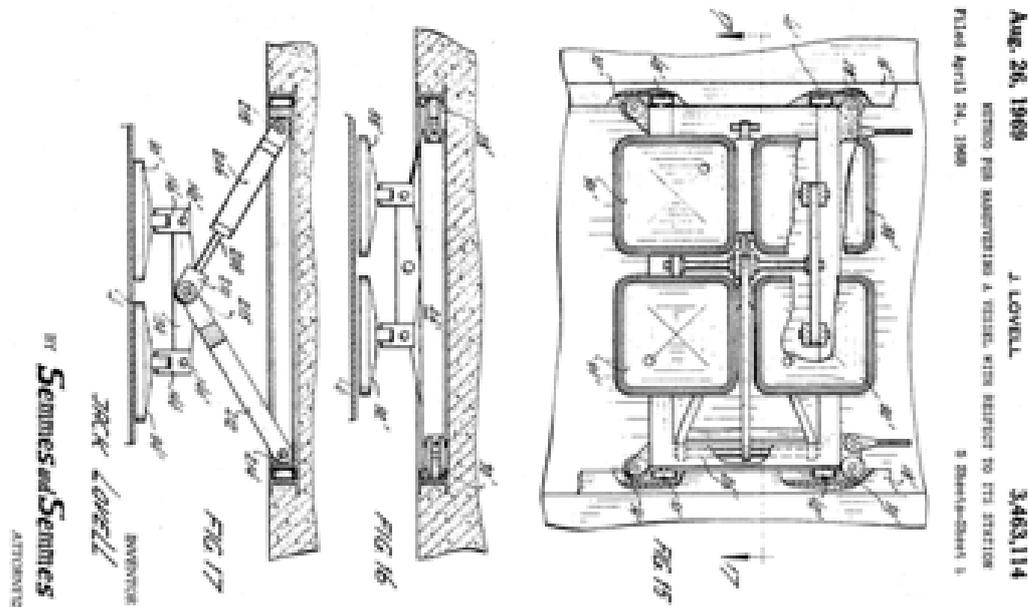


Fuente: Patente de Lowell de 1969.

Una vez que el barco está posicionado hay un brazo extensible que acerca los dispositivos de vacío a este y una vez colocados en su posición sobre el barco se hace el vacío y el barco queda unido al muelle o a la plataforma. El dispositivo de vacío puede moverse

sobre los raíles junto con el barco dependiendo de la altura de las mareas y cualquier otro efecto que produzca movimiento al buque.

Ilustración 12. Procedimiento de maniobra de buques respecto a su atraque.



Fuente: Patente de Lowell de 1969.

2.3.- Segunda generación en sistemas de amarre automático por ventosas de vacío.

En la segunda generación debida a las patentes de Apelstrand de 1991, a la de Hadcroft y Montgomery del 2001 y a la de Montgomery y Rositer del 2002 y 2003 se producen tres mejoras tecnológicas.

2.3.1.- Sistemas intermareal de amarre de Apelstrand 1991.

Esta patente titulada “Mooring System” (Sistema de amarre) de Apelstrand (Apelstrand, 1991) se puede considerar el punto de partida de la segunda generación de sistemas de amarre automático por ventosas de vacío, es dinámico, robotizado e innovador que aplica e introduce mejoras mecánicas, neumáticas, eléctricas, electrónicas e hidráulicas.

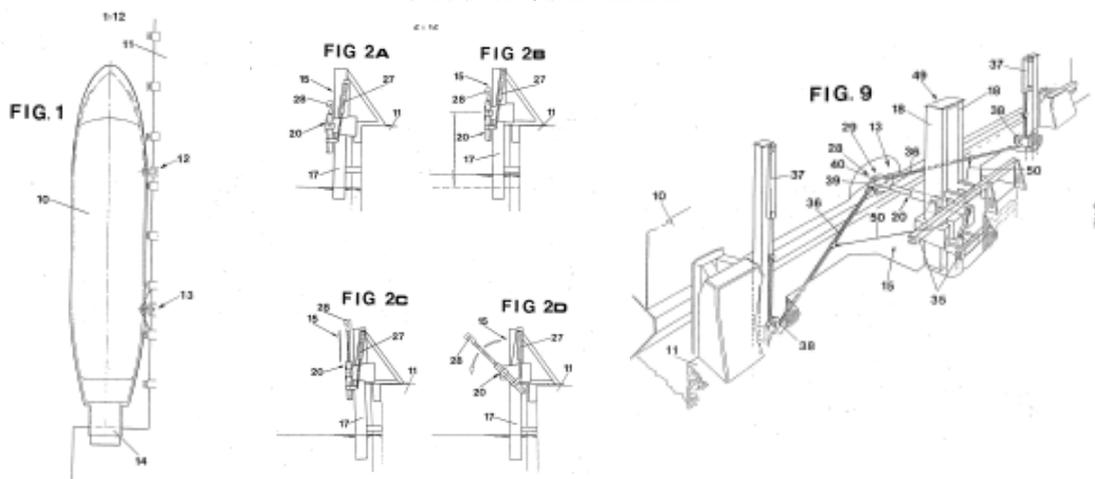
Analiza las patentes de Lowell del apartado anterior y otra de Lawlor de 1977, que se abordará en el apartado 2.8.1 ya que no supone ninguna aportación en la evolución de los sistemas de amarre.

En esta patente de Apelstrand se describe un sistema de amarre entre un buque y un muelle, y está compuesto de dos dispositivos como se puede ver en la Ilustración 14:

- Uno en el muelle de amarre que consta de un brazo de robot que es móvil. Al menos en la dirección vertical está compuesto de unos medios de acoplamiento en una de las unidades.
- Y otro que consta de una armadura de amarre para recepción y fijación de los medios de acoplamiento en el buque.

El brazo del robot está constituido por un accionador que puede moverse en el plano horizontal que se puede activar durante toda la fase de amarre. Los medios de acoplamiento están conectados a un dispositivo para absorber las fuerzas laterales del buque que actúa sobre el extremo libre del accionador, de forma que no hay apenas momentos de flexión y se transfieren al actuador.

Ilustración 13. Sistema de amarre.



Fuente: Patente de Apelstrand de 1991.

Dicho dispositivo está constituido por medios flexibles, dispuesto para actuar sobre los medios de acoplamiento y que están destinadas a transmitir dichas fuerzas a cualquiera de las unidades o ambas unidades.

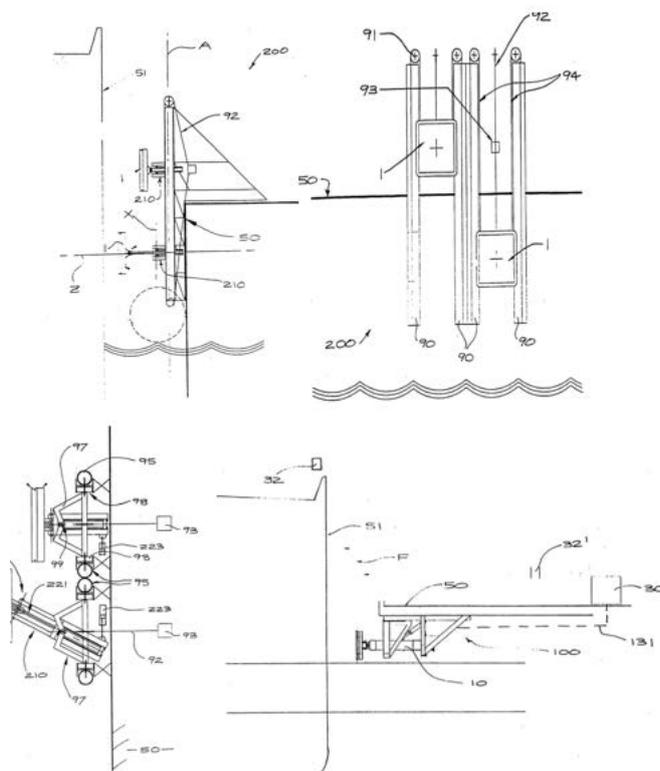
2.3.2.- Dispositivo de amarre de Hadcroft y Montgomery de 2001.

A partir del 2001 comienza P. Montgomery con Hadcroft y posteriormente con Rositer, a desarrollar un sistema de amarre automático, para la empresa de Cavotec, a través de distintas patentes que se describirán a continuación:

En este grupo de patentes se incluirán las primeras patentes que nos encontramos del Sistema de Cavotec desarrollándose con ellas un sistema que posteriormente se irá optimizando con innovaciones técnicas, electrónicas y telemáticas.

Esta patente titulada “Mooring device” (Dispositivo de amarre) de los autores Hadcroft y Montgomery (Hadcroft and Montgomery, 2001) está basada en las patentes de Lovell de 1969, de Michl de 1997 y de Apelstrand de 1991 y fue mejorada por las patentes de Montgomery y Rositer de 2002 y la de 2003 de los mismos autores respectivamente. Dado que la patente de Michl no se ha abordado en el presente análisis por tratarse de sistemas aplicados a embarcaciones de recreo, se ha creído necesario hacer una referencia de la misma en el apartado 2.8.3.

Ilustración 14. Dispositivo de amarre.



Fuente: Patente de Hadcroft y Montgomery de 2001.

También fue publicada por los mismos autores y registrada por ellos mismos en 2004, con el número de patente US6910435B2

Las ventosas de vacío que forman parte del sistema de amarre automático que se describe en esta patente, absorben los movimientos en los seis grados de libertad, en los tres ejes X, Y Z, de los buques que atracados.

Como ya se había mencionado este sistema se utiliza para atracar buques de grandes dimensiones, buques mercantes.

En este caso se ve como el sistema, está instalado en el muelle dotado con unos brazos que tiene en sus extremos unas bases para alojar las ventosas. Estos brazos se desplazan verticalmente sobre raíles para amortiguar el movimiento vertical que pueden provocar las mareas y el oleaje y también tienen capacidad para soportar los movimientos transversales y horizontales que pueda sufrir el buque durante su estancia atracado. Estos últimos desplazamientos pueden ser producidos entre otros factores por corrientes, vientos y operaciones de carga o descarga.

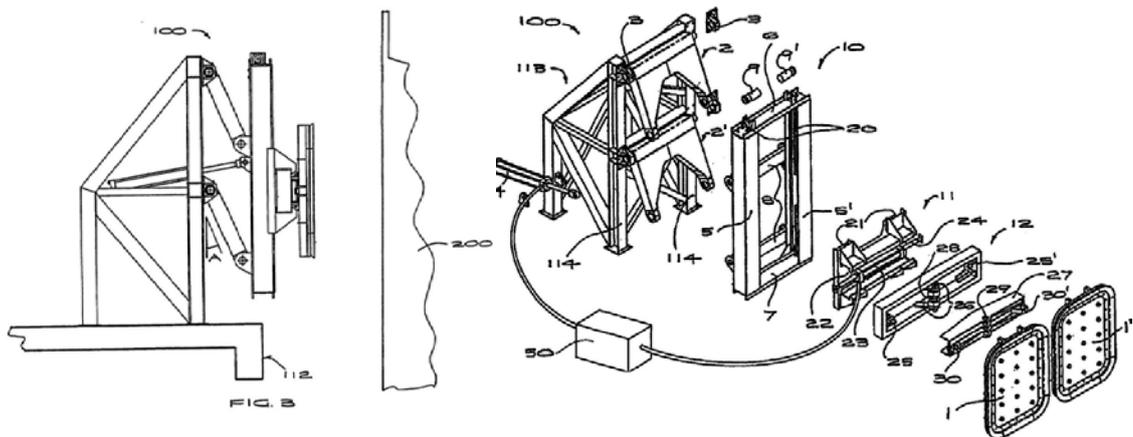
El movimiento telescópico de los brazos es accionado por medio de un sistema hidráulico.

2.3.3.- Robot de amarre de Montgomery y Rositer de 2002.

Con esta patente titulada “Mooring Robot” (Robot de amarre) de Montgomery y Rositer (Montgomery and Rositer, 2002), se empieza a advertir el trabajo que desarrolla Montgomery, P.J a través de diversas patentes que describen un sistemas de amarre automático, mediante ventosas de vacío, que van desarrollándose a partir de la anterior patente introduciendo mejoras al sistema.

Este sistema que desarrolla Montgomery, P.J. se utiliza para buques mercantes de todo tipo, desde petroleros, cocheros, hasta grandes buques containeros.

Ilustración 15. Robot de amarre.



Fuente: Patente de Montgomery y Rositer de 2002

Este sistema se puede utilizar en cualquier condición meteorológica, de marea y de corriente.

El sistema se irá describiendo con las siguientes patentes perfeccionadas por el propio Montgomery, P.J.

2.3.4.- Dispositivo de amarre de barcos de Montgomery y Rositer de 2003.

Esta patente de Montgomery y Rositer (Montgomery and Rositer, 2003), nos muestra un sistema de amarre automático mediante ventosas que se utiliza para amarrar al muelle buques mercantes o buques entre sí. La patente está titulada “Ship-based mooring device” (Dispositivo de amarre de barcos).

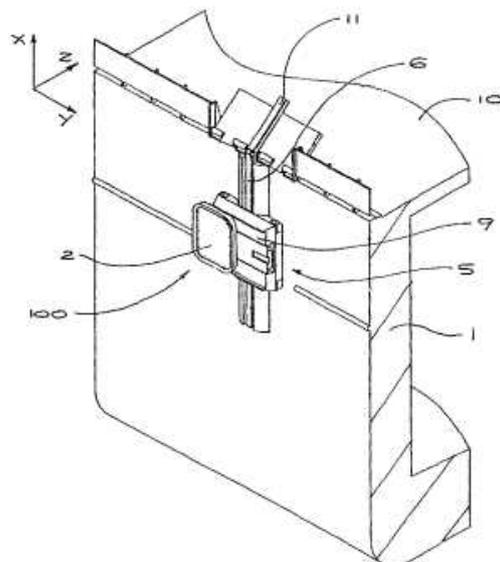
Este sistema cuenta como innovación con un sistema llamado “robot” instalado en tierra que mediante un sistema de vacío deja al buque fijado al muelle de una manera rápida, segura y fiable.

Para el acoplamiento entre dos buques es necesario que se instale en uno de los dos buques el “robot de acoplamiento”.

El robot va instalado sobre raíles verticales sobre los que se desliza y así asumir los movimientos de las mareas y que pueda ser utilizado por buques de diferentes tamaños.

La distancia entre robots depende de las características de los barcos por los que se utilice el sistema pero sobre todo las características meteorológicas, de mareas, corrientes y vientos.

Ilustración 16. Dispositivo de amarre de barcos.



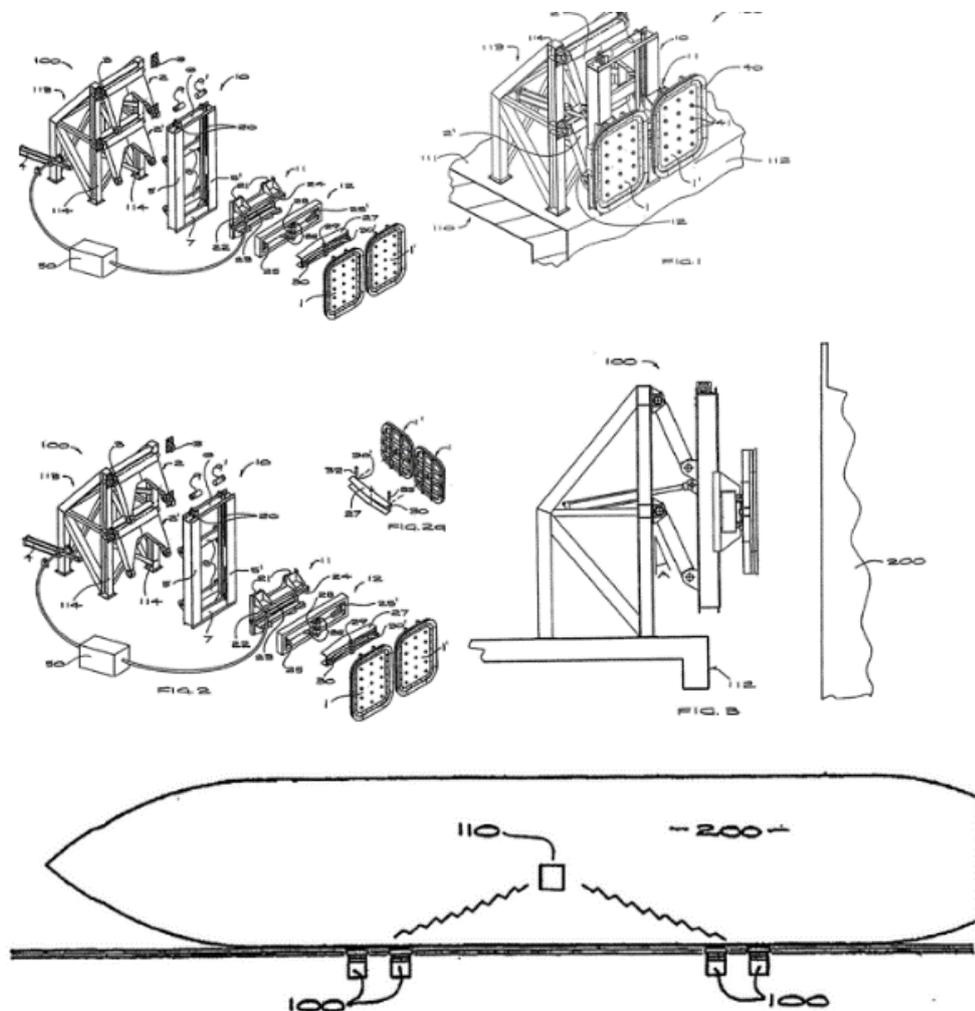
Fuente: Patente de Montgomery y Rositer de 2003.

Este sistema es mejorado en patentes sucesivas, de la misma forma ella perfecciona la de Montgomery y Rositer de 2002.

2.4.- Tercera generación en sistemas de amarre automático por ventosas.

Con esta patente titulada “Mooring robot” (Robot de amarre) de Montgomery y Rositer (Montgomery and Rositer, 2005) y las anteriores mencionadas los autores consiguen desarrollar un sistema de amarre automático para buques de grandes dimensiones, compuesto por varios “Robots de amarre” dependiendo de la eslora del buque.

Ilustración 17. Robot de amarre.



Fuente: Patente de Montgomery y Rositer de 2005.

El robot de amarre tiene un par de copas de vacío que se mantienen paralelas al muelle para el acoplamiento con el casco del buque. El robot de amarre es capaz de mover

las copas de vacío en tres dimensiones, "vertical", "longitudinal" y "transversal", mediante un brazo articulado que finaliza en las copas de vacío y se acopla directamente con el casco del buque y con un dispositivo de vacío de fácil liberación.

El robot de amarre se fija a una estructura sobre el muelle, la superficie puede estar en la cara vertical o en la cara horizontal de éste, dependiendo del modelo de robot, la superficie debe ser lo más lisa posible. En ocasiones el robot de amarre puede ser montado sobre una estructura por debajo del cantil del muelle para evitar obstrucciones.

Un brazo articulado paralelo proporciona el movimiento a las copas de vacío en la dirección transversal y un carro se acopla con la guía vertical para proporcionar el movimiento vertical.

Cada robot de amarre es controlado por un sistema remoto, los robots de amarre son independientes entre ellos y pueden moverse en los tres ejes independientemente del resto.

2.5.- Cuarta generación en sistemas de amarre automático por ventosas.

La cuarta generación del sistema de amarre automático, cuya primera patente es debida a Montgomery y Rossiter en 2007, está configurada por proyectos que incorporan innovaciones mecánicas de la tercera generación.

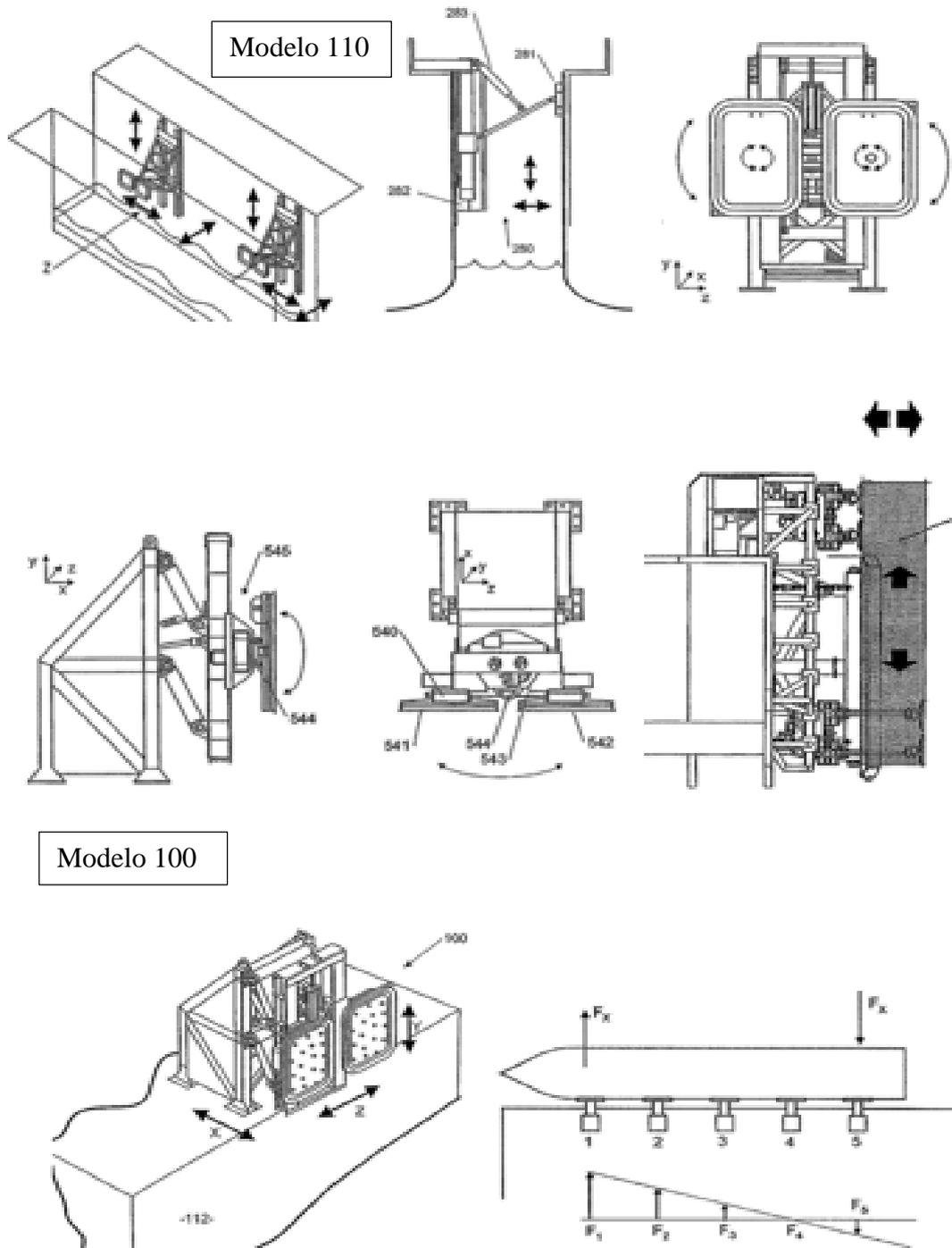
2.5.1.- Sistema de amarre automático con control remoto de Montgomery y Rossiter de 2007.

Esta patente se denomina "Mooring system with active control" (Sistema de amarre automático con control remoto) de Montgomery y Rossiter (Montgomery and Rossiter, 2007) es una mejora de la anterior, en ésta se describe un sistema de control remoto, mediante el cual controlan las fuerzas que ejerce el buque atracado sobre cada robot de amarre y así poder contrarrestarlas de manera manual o automática.

Tras el estudio de las diferentes fuerzas que ejercen presión en cada circunstancia sobre cada robot, diseñan el programa informático para poder contrarrestarlas mediante un control remoto.

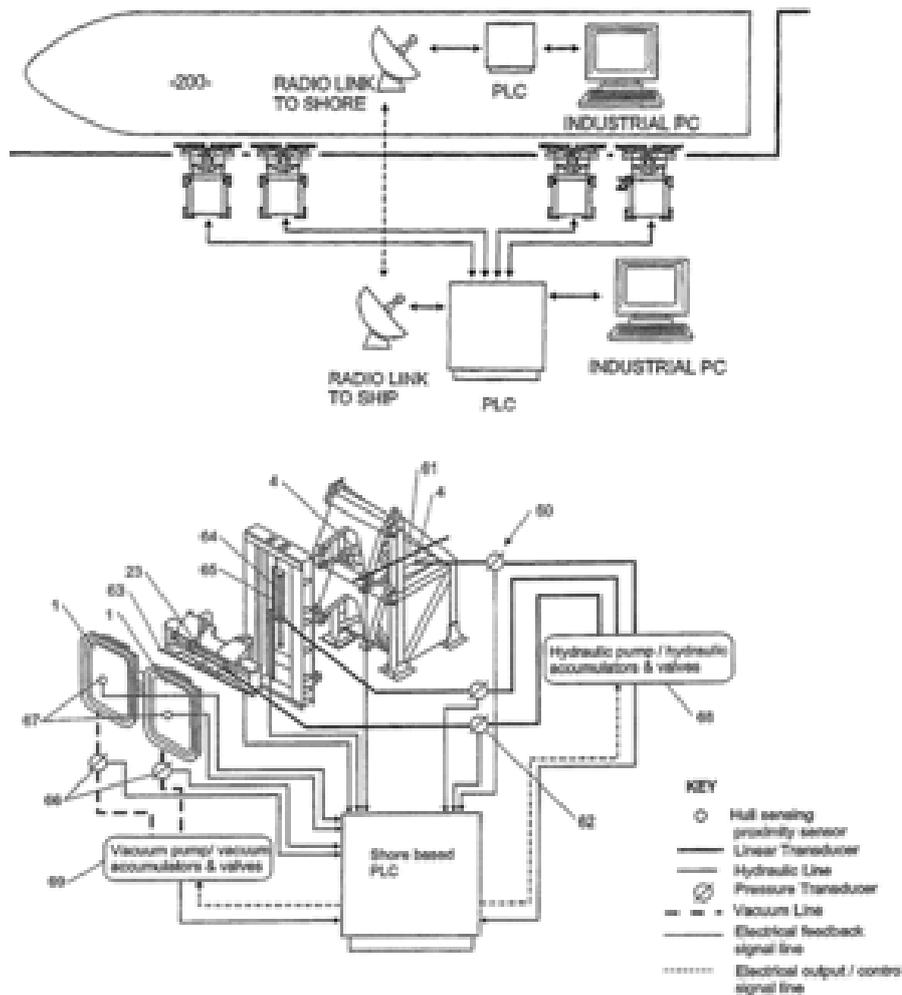
En la Ilustración 19 se pueden observar las distintas fuerzas que pueden soportar los robots de amarre y los dos tipos diferentes de robot de amarre, uno instalado sobre el cantil del muelle (Modelo 100) y otro en la parte vertical del muelle (Modelo 110).

Ilustración 18. Sistema de amarre automático con control remoto.



Fuente: Patente de Montgomery y Rositer de 2007.

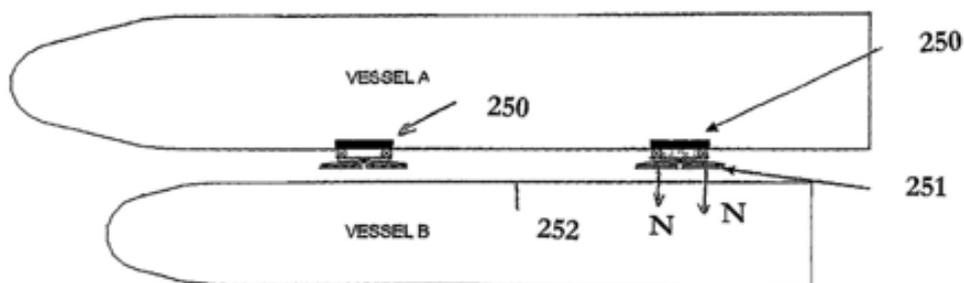
Ilustración 19. Sistema de amarre automático con control remoto.



Fuente: Patente de Montgomery y Rositer de 2007.

Este Sistema de amarre también se puede instalar en el casco de un buque para poder amarrarlo directamente a un muelle o abarloarlo a otro buque y quedar unidos formando uno solo como se muestra en la Ilustración 20.

Ilustración 20. Sistema de amarre automático con control remoto.



Fuente: Patente de Montgomery y Rositer de 2007.

2.5.2.- Sistema de amarre y medios relacionados de Montgomery 2009.

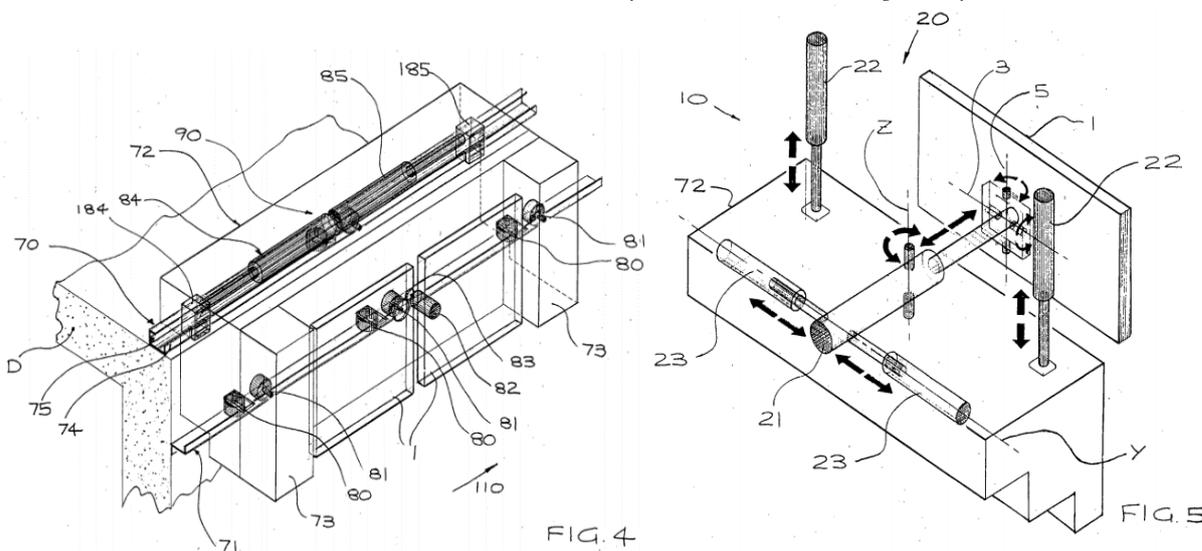
En ésta patente nombrada “Mooring system and related means” (Sistema de amarre y medios relacionados) de Montgomery (Montgomery, 2009) se describe un sistema de amarre que comprende o incluye:

Un carril fijo generalmente paralelo a una cara de amarre del muelle.

Un carro con ruedas asociado con el carril, las ruedas son para facilitar la traslación del carro con respecto al carril y evitar el descarrilamiento.

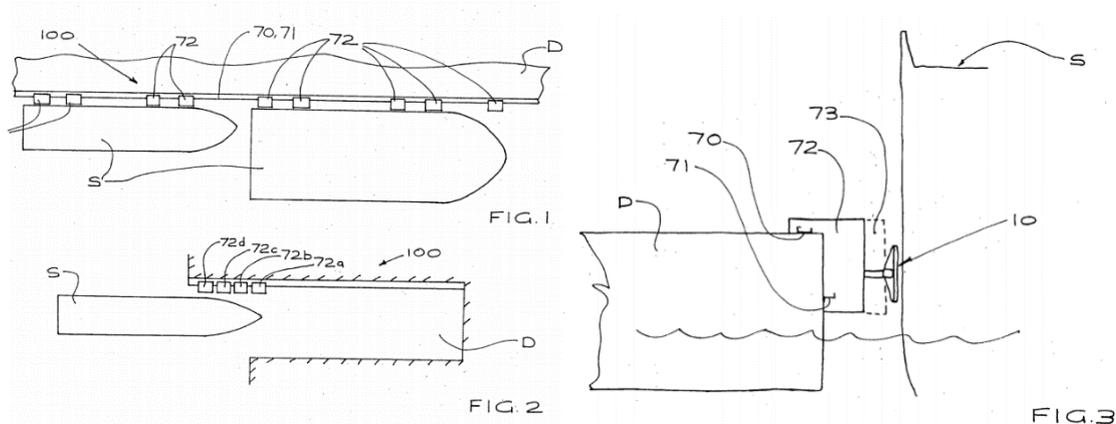
Un motor primario para efectuar dicho movimiento.

Ilustración 21. Sistema de amarre y medios relacionados. Figuras 4 y 5.



Fuente: Patente de Montgomery de 2009.

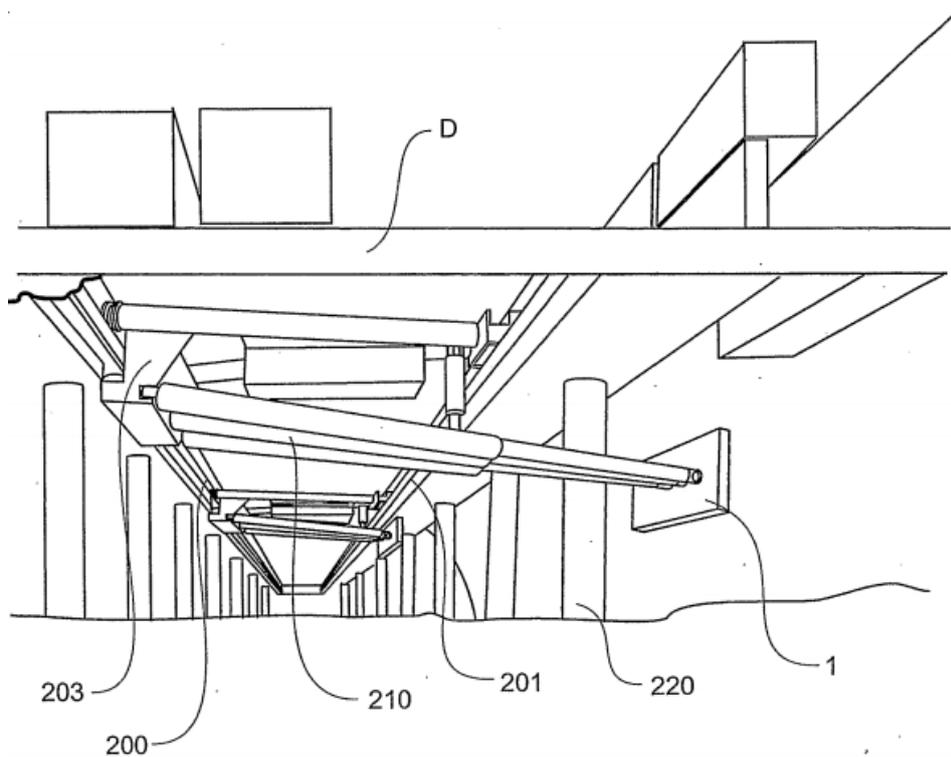
Ilustración 22. Sistema de amarre y medios relacionados. Figuras 1, 2 y 3.



Fuente: Patente de Montgomery de 2009.

Medios de sujeción de fácil liberación por una parte del carro dentro del carril, para que quede frenado una vez que el buque está en posición y por otra parte un medio de sujeción también de fácil liberación (ventosas de vacío) que proporciona el acoplamiento del carro con el casco del buque.

Ilustración 23. Sistema de amarre y medios relacionados.



Fuente: Patente de Montgomery de 2009.

A través de los raíles los carros con las ventosas se desplazan paralelos al muelle y dependiendo de la eslora del buque se necesitarán un número de carros o una separación entre ellos. Las ventosas se acoplan al carro a través de unos brazos articulados que permiten el movimiento vertical del buque, y así poder utilizar este sistema tanto en astilleros para diques secos como en muelles comerciales para atracar de buques de carga, un ejemplo sería atraques para graneleros ya que permite posicionar las escotillas a la altura que se necesita. El sistema también permite ganancias de tiempo en las maniobras de atraque y desatraque y permite hacer un mejor uso de los muelles de atraque porque no se necesita tanto espacio entre buque y buque para su atraque.

El sistema también se puede utilizar para nuevas aplicaciones, tales como el desplazamiento de un buque a través de una rampa para colocarlo en seco.

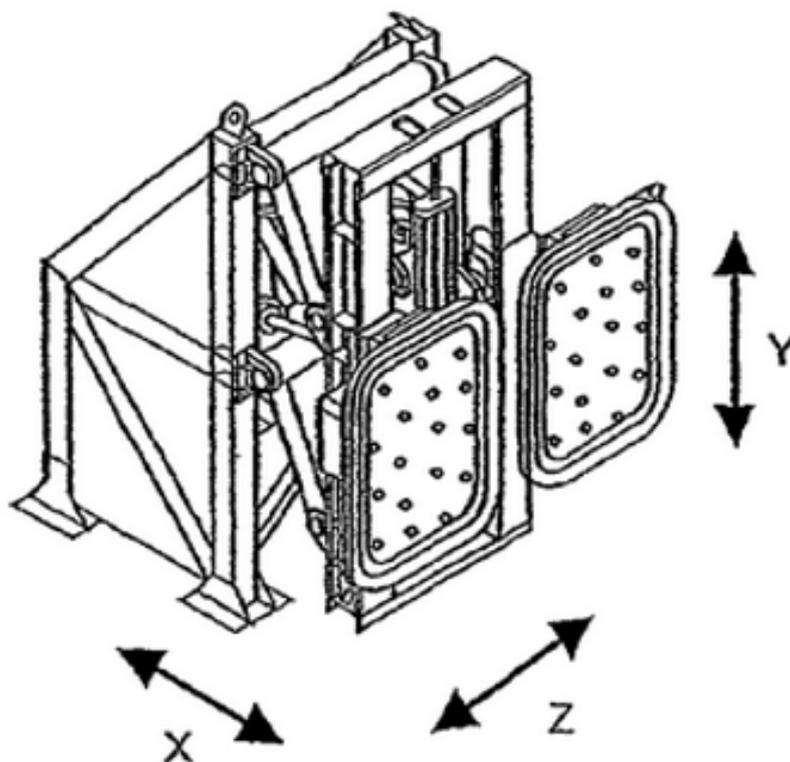
Además, los medios utilizados para conectar el carro con el buque han incorporado elementos elásticos para absorber los impactos causados por el viento, las olas amortiguando los movimientos para que el buque este atracado con total seguridad.

2.5.3.- Sistema de amarre automático con control remoto de Montgomery y Rositer de 2012.

Esta patente de Montgomery y Rositer (Montgomery and Rositer, 2012) es una evolución de las patentes descritas de estos mismos autores. La patente se denomina, “Mooring system with active control” (Sistema de amarre automático con control remoto).

La presente patente introduce un control remoto para controlar las fuerzas que afectan al buque y sus desplazamientos. Esta invención también monitoriza las fuerzas que provocan en el buque el oleaje, las mareas, el viento y los movimientos producidos durante las operaciones de carga y se reflejan en el sistema de amarre automático mediante ventosas.

Ilustración 24. Sistema de amarre automático con control remoto.

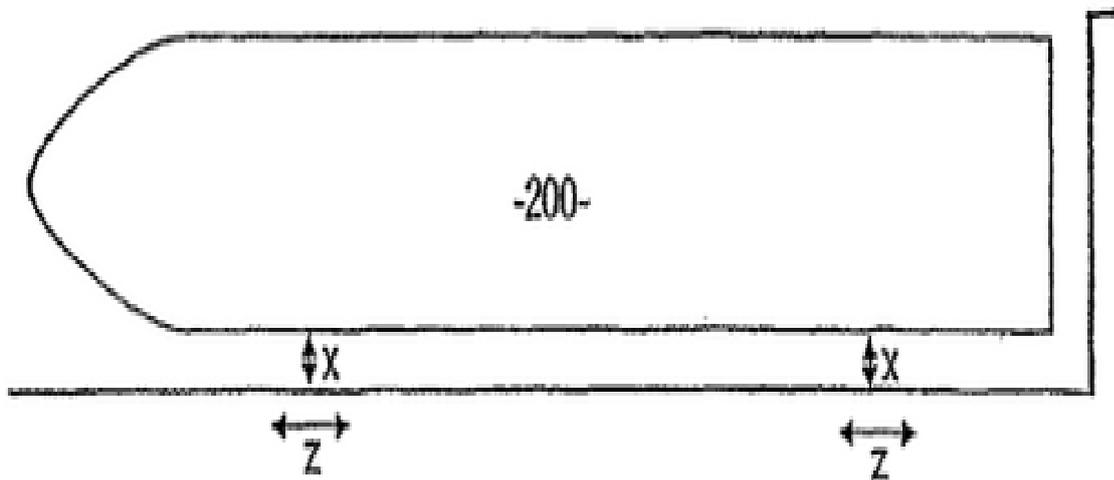


Fuente: Patente de Montgomery y Rositer de 2012.

El sistema tradicional de amarre utiliza líneas de amarre, estachas, y la capacidad de retención proporcionada por las estachas o cables de amarre está determinada por la resistencia a la rotura de las mismas o la fuerza de los accesorios que sostienen las líneas de amarre entre el buque y el muelle, y en el sistema automático que se detalla a lo largo de este capítulo, la fuerza de retención se produce a través de unas ventosas que se adhieren al casco del buque mediante un sistema de vacío, este invento trata de monitorizar las fuerzas necesarias para contrarrestar los movimientos del buque y mantenerlo pegado al muelle.

El programa que hace la lectura de los datos ha incluido alarmas que saltarán cuando las fuerzas aumentan por encima de unos márgenes de seguridad.

Ilustración 25. Sistema de amarre automático con control remoto.



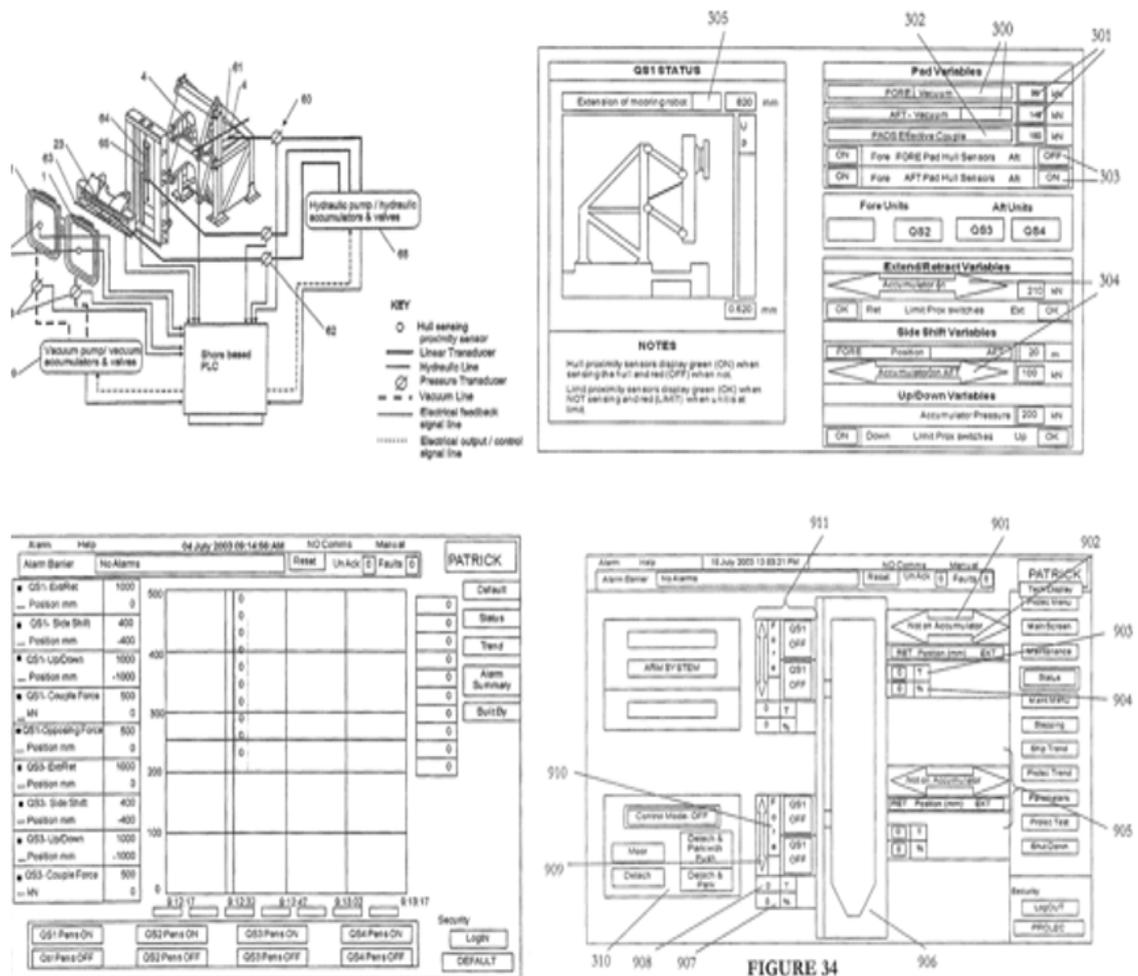
Fuente: Patente de Montgomery y Rositer de 2012.

En la Ilustración 26 podemos ver el diagrama de recogida de datos y las pantallas en las que se pueden ver reflejados estos datos.

Se han considerado todos los aspectos ambientales, y este sistema proporciona un alto nivel de seguridad y evita el exceso de diseño para evitar altos costes.

Un problema que cualquier sistema de amarre debe contrarrestar para evitar que el barco se mueva son los efectos de las corrientes de agua y el viento, por eso para introducir las consideraciones de seguridad necesarias se ha desarrollado este sistema que emplea elementos de fijación activo, tales como copas de vacío.

Ilustración 26. Sistema de amarre automático con control remoto.



Fuente: Patente de Montgomery y Rositer de 2012.

2.6.- Quinta generación de sistemas de amarre automático por ventosas.

La quinta generación del sistema de amarre automático, cuya primera patente es debida a Montgomery (2013a), está configurada por proyectos que incorporan innovaciones mecánicas de la cuarta generación.

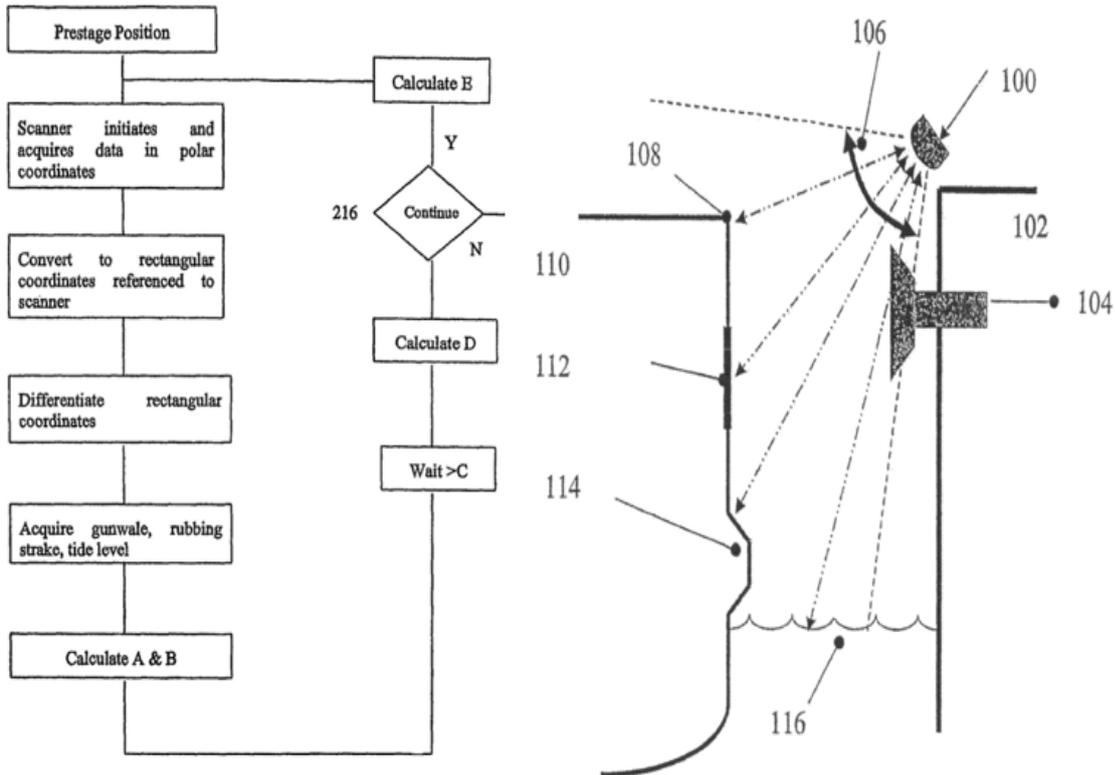
2.6.1.- Escaneo laser para robot de amarre de Montgomery 2013^a.

En esta patente “Laser scanning for mooring robot” (Escaneo laser para robot de amarre) de Montgomery (Montgomery, 2013^a) se describe un sistema de escaneo laser para proporcionar un enlace de telemetría entre el buque y el sistema pudiendo visualizar

simultáneamente los datos a bordo y en tierra y transmitir los comandos de conexión desde el puesto de control al sistema de amarre automático mediante copas de vacío.

Esta patente es una mejora del sistema anterior y describe un sistema de detección mediante laser de las fuerzas que actúan.

Ilustración 27. Escaneo laser para robot de amarre.



Fuente: Patente de Montgomery de 2013^a.

2.6.2.-. Método y Sistema de amarre automatizado de Montgomery de 2013^b.

Esta patente de Montgomery (Montgomery, 2013b) es otra modificación de las patentes descritas anteriormente del mismo autor, es una mejora en el sistema de medición de parámetros en ésta se incluye un programa para que la posición del buque se mantenga de forma automática. La patente se titula “Automated mooring method and mooring system” (Método y Sistema de amarre automatizado).

Ilustración 28. Método y Sistema de amarre automatizado.

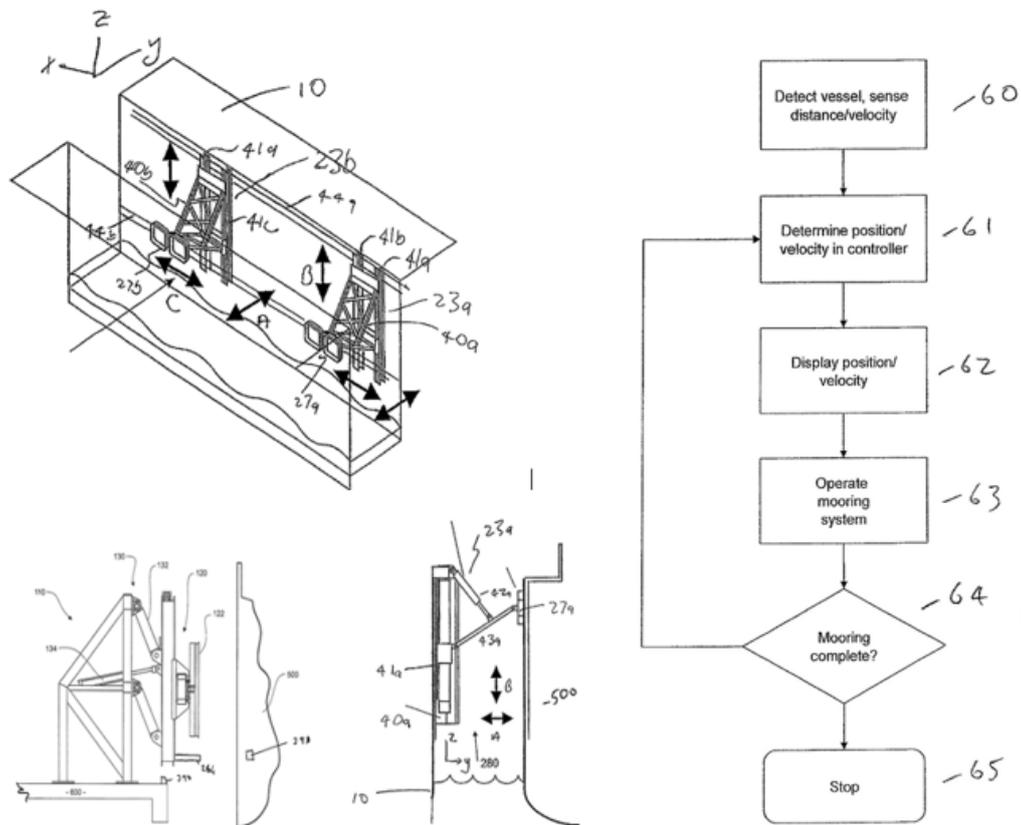


FIGURE 9

Fuente: Patente de Montgomery de 2013b.

Un sensor detecta la posición del buque en el muelle una vez amarrado con el sistema de vacío y un procesador calcula y envía las instrucciones de movimiento basándose en la información recibida del procesador, y envía las instrucciones al elemento de contacto (brazos de las ventosas o robot de amarre). Una vez atracado el buque, un procesador controla el estado de cada robot de amarre en tiempo real y los reposiciona para controlar el movimiento del buque en función de las fuerzas que éste ejerza sobre cada uno de ellos.

Cada robot de amarre se controla de manera independiente al resto, siendo los datos que va recibiendo el procesador mediante los sensores situados en los robots, los siguientes:

- a) la velocidad del buque con respecto al terminal,
- b) la aceleración o desaceleración de la embarcación,
- c) la energía cinética del buque, y
- d) la inercia de la embarcación.

También recibe otra serie de datos del AIS de a bordo y del GPS.

Esta patente es un método de operar el sistema de amarre automático adecuado para atracar un buque que se está aproximando al muelle, e incluye una pluralidad de robots

de amarre, que tienen un mecanismo de acoplamiento para que el buque una vez atracado quede en su posición perfectamente sujeto, El sistema consta de los siguientes elementos:

- a) Un sistema de detección de movimientos con relación a la instalación de amarre y / o cada uno de los robots de amarre y / o cada uno de los mecanismos de acoplamiento.
- b) Un procesador para el cálculo de movimiento requerido por el mecanismo de acoplamiento de cada robot de amarre.
- c) Un controlador para controlar el movimiento de los robots de amarre en respuesta a la información recibida desde el procesador.

2.7.- Análisis de citas de los sistemas de amarre automáticos

En la tabla 4 se puede apreciar la relación de las distintas patentes y las citaciones que han realizado los autores de las mismas y las que han tenido.

La primera patente que se encuentra de estos sistemas de amarre automático es la de (Steinhauer, 1914)¹ que se refiere a embarcaciones de recreo. En ella el sistema queda instalado en el muelle y en él se basan otras tres patentes las de (Gorman, 1951)², (Smith, 1951)³ y de (Yordi, 1961)⁶.

Estas patentes son muy parecidas entre sí, incluyen alguna mejora en el sistema pero mecánicamente son similares.

En las patentes de Gossen (1959)⁴ y de Kulick (1960)⁵ se puede distinguir alguna innovación. La patente de Gossen (1959)⁴ desarrolla el primer sistema para embarcaciones de recreo, de pesca y mercantes, en ésta se ve que el sistema está montado sobre raíles verticales para que la embarcación una vez amarrada pueda moverse verticalmente con los cambios de la marea y de calado. En la patente de (Kulick ,1960)⁵ también se observan unos ganchos y unos resortes mediante los cuales se absorben los movimientos producidos por los cambios de la altura de las mareas.

Tabla 4. Citaciones.

		CITADA POR																													
	año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	suma	
	año	1914	1951a	1951b	1959	1960	1961	1964a	1964b	1965	1969	1977	1978	1981	1991	1994	1997	2001	2002	2003a	2003b	2003c	2005	2007	2009	2012a	2012b	2013a	2013b		
CITA A	1	1914																												0	
	2	1951a	1																												1
	3	1951b	1																												1
	4	1959																													0
	5	1960																													0
	6	1961	1		1	1																									3
	7	1964a						1																							1
	8	1964b					1	1	1																						3
	9	1965																													0
	10	1969									1																				1
	11	1977						1																							1
	12	1978				1	1																								2
	13	1981					1	1		1																					3
	14	1991										1	1																		2
	15	1994			1		1	1	1	1	1				1																6
	16	1997				1																									1
	17	2001										1				1		1													3
	18	2002									1	1				1		1	1												5
	19	2003a						1	1																						2
	20	2003b										1				1		1	1	1											5
	21	2003c						1							1		1														3
	22	2005									1	1				1		1	1	1											6
	23	2007									1	1				1		1	1	1											6
	24	2009										1				1		1	1	1						1	1				7
	25	2012a										1						1	1	1					1	1	1				6
	26	2012b									1					1		1	1	1					1	1	1		1		8
	27	2013a										1								1											2
	28	2013b										1	1			1				1	1					1	1	1	1	1	
		3	0	2	2	6	5	4	2	6	10	1	0	2	8	1	7	8	8	0	1	0	4	4	1	1	1	1	0		

Fuente: Elaboración propia.

La patente de Yordi (1961)⁶ basada en el sistema de Steinhauer (1914)¹, como ya se ha mencionado, mejora las patentes de Smith (1951)³ y de Gossen (1959)⁴.

En esta patente de Yordi (1961)⁶ como se verá a continuación se basan diversas patentes posteriores.

Después nos encontramos las de Fulton (1964)⁷ y de Faber (1964)⁸ que son referente para patentes posteriores.

La patente de Fulton (1964)⁷ está basada en la patente de Yordi (1961)⁶ e introduce una innovación y una mejora a ésta, patenta una serie de varillas flexibles fijadas por un extremo al muelle y por otro al barco, una especie de látigo.

La segunda patente, la de Faber (1964)⁸ se basa además de en la patente de Fulton (1964)⁷, en la de Yordi (1961)⁶ y en la de Kulick (1960)⁵ y es una clara mejora de las patentes en las que se basa.

La patente de Standwick (1965)⁹, no es un sistema de amarre propiamente dicho, pero es un punto de partida para el sistema de vacío desarrollado por Montgomery para Cavotec posteriormente.

Ésta consiste en un brazo articulado instalado en un remolcador, que finaliza en una ventosa de vacío y que se conecta al casco del buque a remolcar y mediante vacío quedan los dos buques unidos como si fuese uno sólo y así poder hacer las maniobras necesarias.

Ésta patente es una innovación, no se basa en ninguna anterior.

La siguiente patente es la de Lovell (1969)¹⁰ que está basada en la patente de Yordi (1961)⁶, se describe un sistema de amarre para buques mercantes montado también sobre raíles y que finalizan en unas ventosas de vacío.

Ésta y la anterior son los puntos de partida para del sistema actual desarrollado por la empresa Cavotec y por el Montgomery.

La siguiente patente que nos encontramos es la de Lawlor (1977)¹¹ y es una mejora del sistema desarrollado por Kulick (1960)⁵.

Los dos siguientes sistemas después Warwick (1978)¹² y de Apelstrand (1991)¹⁴, Booker and Bregoff (1981)¹³ respectivamente y son mejoras del sistema de Kulick (1960)⁵.

El sistema de Warwick (1978)¹² también mejora el sistema de Gossen (1959)⁴ y el sistema de Booker, W.G. también mejora el sistema de Smith (1951)³ y de Faber (1964)⁸.

La siguiente patente es la de Apelstrand (1991)¹⁴ se basa en las patentes de Kulick (1960)⁵, de Yordi (1961)⁶ y de Faber (1964)⁸ y en ella se basan casi todas las patentes que nos encontramos en años posteriores.

La siguiente patente que nos encontramos es la de Cotton (1994)¹⁵ y es una clara mejora de las patentes posteriores de los años 1951³, 1960⁵, 1961⁶ y 1964⁸.

La patente de Michl (1997)¹⁶ se basa en patente de Kulick (1960)⁵ y desarrolla un sistema que combina el brazo de amarre propuesto en esta patente con un sistema de vacío manual.

El siguiente sistema es el desarrollado por Hadcroft and Montgomery (2001)¹⁷, éste último es el inventor del sistema que desarrollará Cavotec a partir de esta patente.

Esta patente se basa en las desarrolladas en los años 1969¹⁰, 1991¹⁴ y 1997¹⁶ y ésta es la siguiente patente que desarrolla el primer sistema de amarre automático de vacío mediante robots de amarre.

En el año 2002 nos encontramos otra patente de Montgomery and Rositer (2002)¹⁸ Que mejora la patente anterior.

En los años sucesivos se desarrollan las patentes de:

Montgomery and Rositer, 2005²²; Montgomery and Rositer, 2003²⁰; Montgomery and Rossiter, 2007²³; Montgomery, 2009²⁴; Montgomery and Rositer, 2012²⁵; Montgomery, 2013a²⁷; Montgomery, 2013b²⁸.

Estas patentes están desarrolladas por Montgomery junto con otros autores y mediante las cuales se va perfilando el sistema de amarre automático de Cavotec, implementando nuevos avances. Se ha mejorado mediante la innovación en sistemas de control remoto y sensores de control de los movimientos sufridos por los buques atracados mediante este sistema. Los sensores envían los datos a un procesador que gestiona los datos y reenvía las órdenes correspondientes a las ventosas para que amortigüen los movimientos.

Otras patentes publicadas durante estos años fueron la Lee et al. (2012²⁵ ésta se basa en las patentes de 1969¹⁰, 2001¹⁷, 2002¹⁸, 2003b²⁰, 2005²² y 2007²³ y desarrolla un sistema parecido al de Cavotec.

También en el año 2003 se publicaron otras dos patentes de Forrest (2003)²¹ y Brushaber (2003)¹⁹ pero ninguna tiene influencia en el sistema de Cavotec.

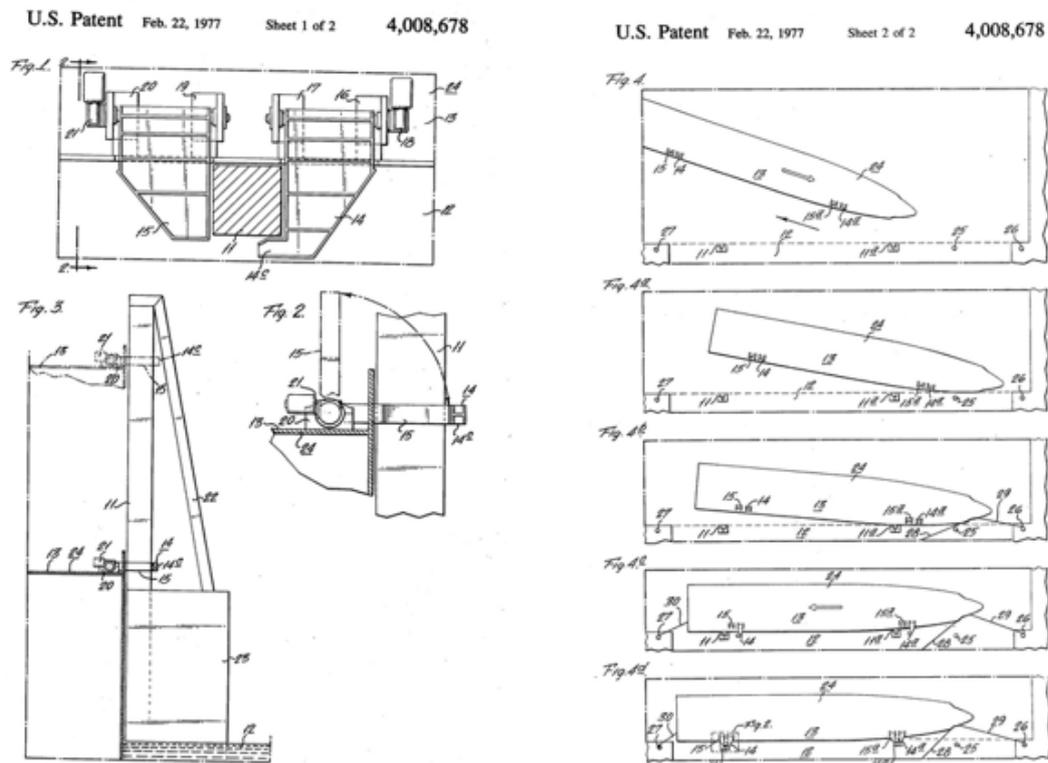
2.8.- Otros dispositivos de amarre automático por vacío

A continuación describimos una serie de patentes de otros sistemas que están basados en amarre automático mediante vacío, estos no están basados los descritos en las distintas generaciones pero son importantes para el desarrollo de este capítulo.

2.8.1.- Sistema de amarre de buques de Lawlor de 1977.

En esta patente “Ship mooring system” (Sistema de amarre de buques) de Lawlor (Lawlor, 1977) se observa una innovación importante, propone un sistema de amarre para su uso en los muelles, con grandes cambios de marea, tiene unos motores eléctricos reductores con una técnica electromecánica de engranaje de traslación o deslizamiento sobre pivote, también requiere de dos puntos de amarre verticales situados en el muelle, a una cierta distancia entre sí de manera, que cuando se atraca el barco uno estará en una sección de la proa del barco y el otro en una sección de popa.

Ilustración 29. Sistema de amarre de buques.



Fuente: Patente de Lawlor de 1977.

El barco debe estar equipado con dos dispositivos de post-acoplamiento, uno en la zona de proa y otro en la zona de popa, cada uno de los cuales estarán en alineación con el poste de amarre adecuado. Los dispositivos de post-acoplamiento son móviles de manera que se acoplan al poste adyacente para evitar el movimiento horizontal de la embarcación, y permitirá el movimiento vertical de acuerdo con las mareas.

Con este sistema ya vamos viendo los inicios del sistema desarrollado por Cavotec con su patente de (Montgomery, 2010).

En él se observa que los dispositivos de amarre están acoplados tanto en el muelle como en el barco. Este es un punto de partida para el de Cavotec y será una de las variantes que veremos más adelante al describir el sistema de amarre automático desarrollado por Cavotec.

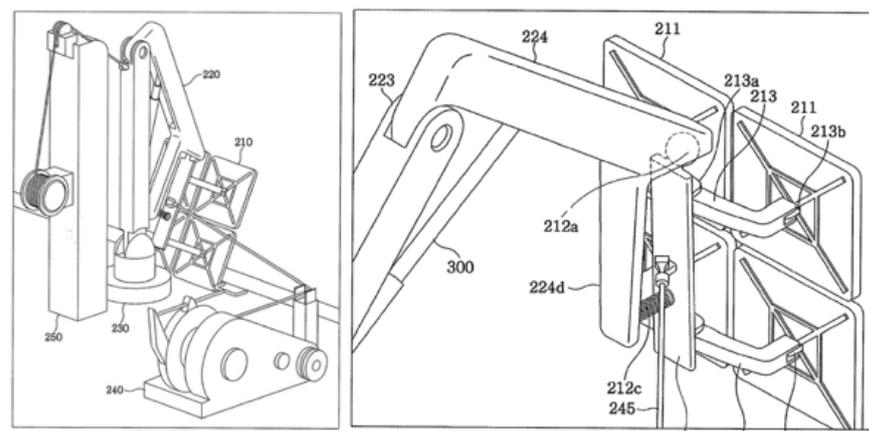
También puede ser utilizado por todo tipo de buques desde embarcaciones de recreo, pesqueros y buques mercantes.

2.8.2.- Sistema de amarre para buques de Lee de 2012.

En esta patente “Mooring system for a vessel” (Sistema de amarre para buques) de Lee (Lee et al., 2012) se describe un sistema de amarre automático, que se diferencia del diseñado por Montgomery y Rossiter, en que la ventosa está ubicada al final de un brazo articulado que se instala en una estructura sobre el muelle. El brazo articulado se mueve a través de un pescante con un cabrestante con cable.

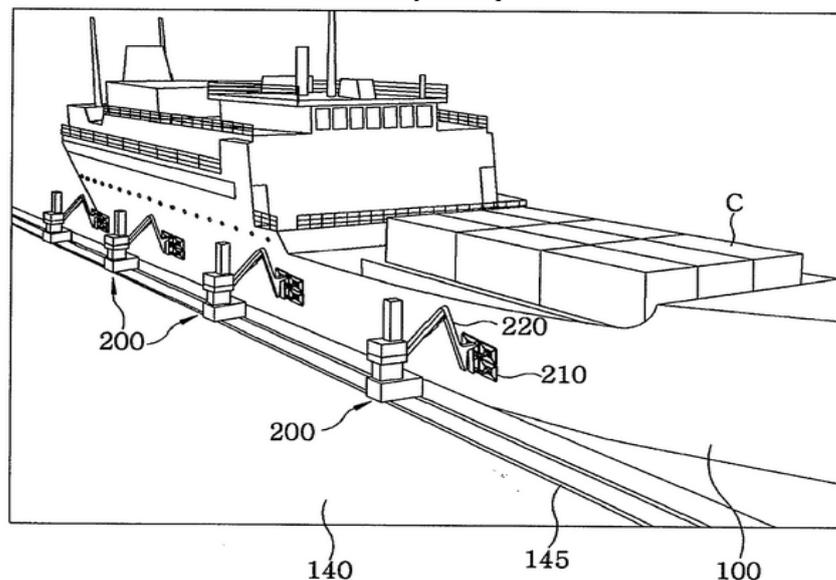
Esta patente también proporciona un sistema capaz de minimizar el tiempo y el esfuerzo necesarios para realizar las maniobras de atraque de los buques mercantes y mantener el buque atracado de manera segura y garantizar el mínimo movimiento durante las operaciones de carga y descarga.

Ilustración 30. Sistema de amarre para buques.



Fuente: Patente de Lee y Han de 2012.

Ilustración 31. Sistema de amarre para buques, estructuras sobre raíles.



Fuente: Patente de Lee y Han de 2012.

También si se necesita que el sistema de amarre se desplace horizontalmente a lo largo del muelle se instalan las estructuras que soportan los brazos articulados con las ventosas sobre raíles como podemos ver en la siguiente Ilustración.

Este dispositivo tiene el inconveniente que necesita de un pescante para ser posicionado sobre el casco del buque, por lo tanto se necesitaran o bien un pescante por estructura o un pescante móvil que deje los brazos colocados antes de que el buque atraque.

2.8.3.- Dispositivo de amarre mediante vacío de Michl de 1997.

En esta patente “Vacuum operated Boat mooring device” (Dispositivo de amarre mediante vacío), de Michl (Michl, 1997) se describe un sistema de atraque para embarcaciones de recreo que consta de un brazo telescópico que conecta el muelle con la embarcación.

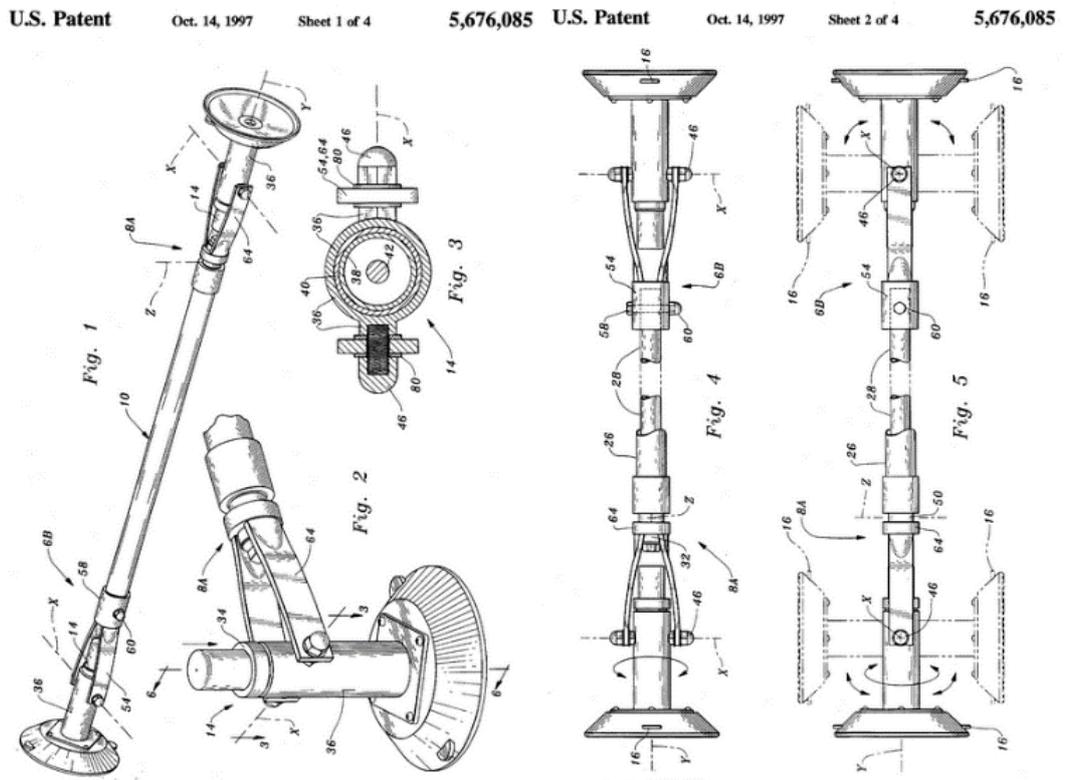
Estos dispositivos van unidos por un extremo al muelle mediante tornillos y por el otro al barco. Estos dispositivos son brazos telescópicos que terminan en unas ventosas de goma que se posicionan sobre la embarcación y mediante un sistema de vacío manual el barco quedaría fijado y separado del muelle. Serian dos dispositivos uno quedaría amarrado por la proa y el otro por la popa.

También se puede utilizar para amarrar dos barcos entre sí, el mecanismo sería el mismo, pero el extremo que va sobre el muelle con tornillos quedaría también con tornillos sobre el barco lo cual puede significar que el dispositivo moleste a bordo puesto que serían dos brazos telescópicos uno en proa y otro en proa.

Su ventaja es que los elementos para amarrar la embarcación al muelle son manejables y permiten de manera fácil y rápida amarrar la embarcación al muelle o a otra embarcación y mantenerlas alejadas entre sí, los dispositivos de vacío están diseñados para que en cuestión de segundos produzcan el vacío de forma manual y las dos partes queden perfectamente sujetas y separadas.

Es un sistema de amortiguamiento mediante deslizamiento y vemos una innovación importante que es el sistema de vacío, que está instalada al final de un mástil telescópico.

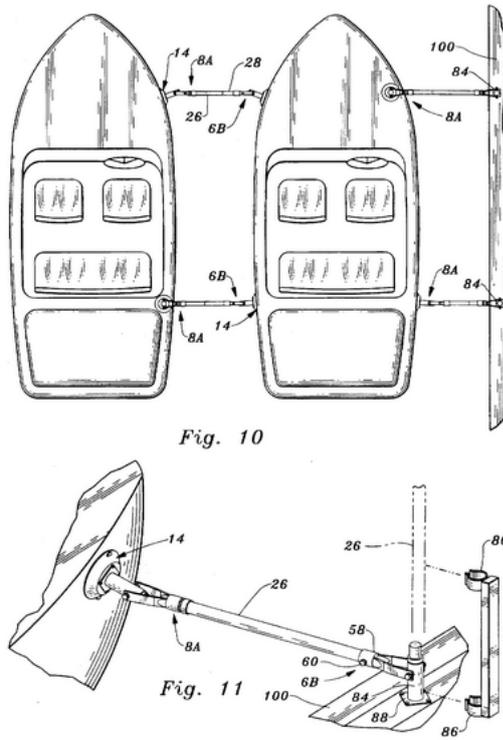
Ilustración 32. Dispositivo de amarre mediante vacío.



Fuente: Patente de Michl de 1997.

Ilustración 33. Dispositivo de amarre mediante vacío.

U.S. Patent Oct. 14, 1997 Sheet 4 of 4 5,676,085



Fuente: Patente de Michl de 1997.

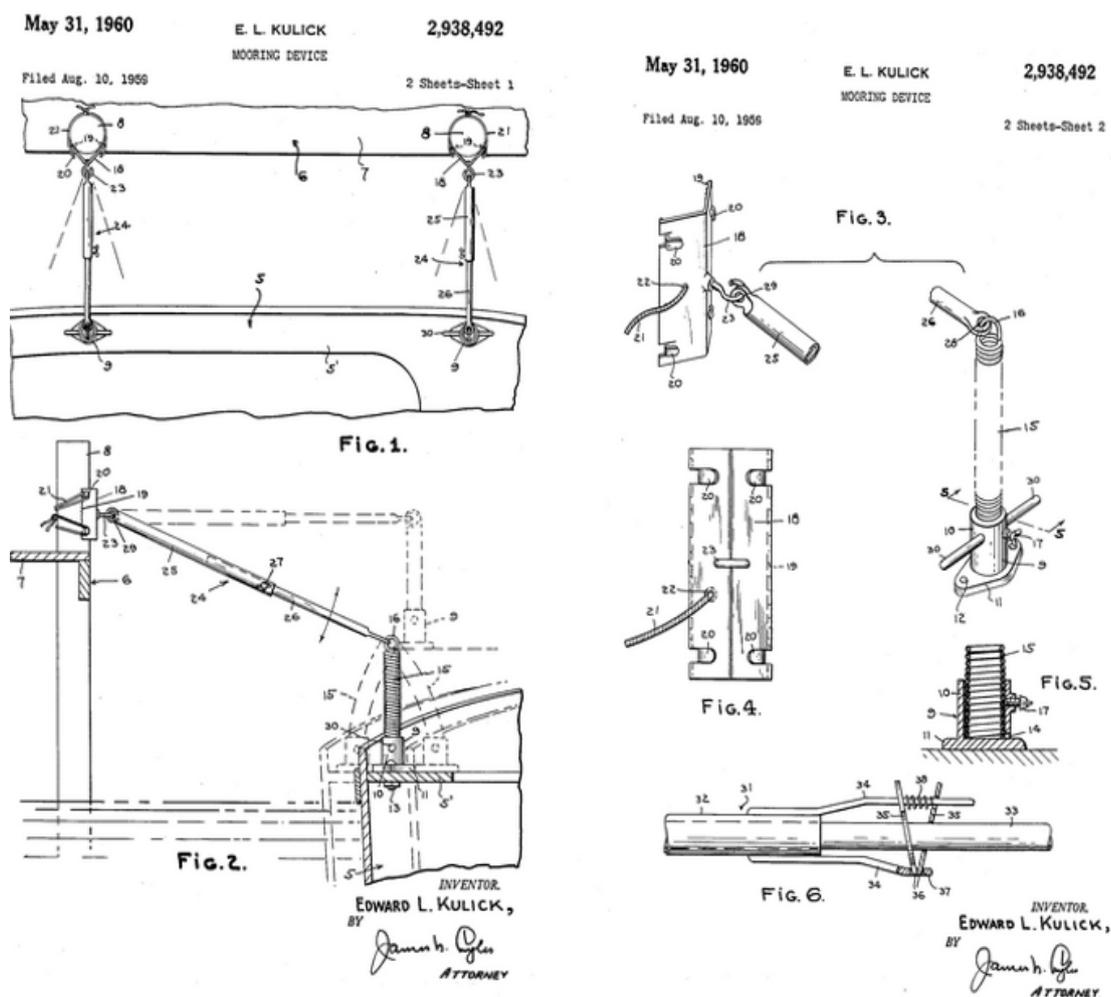
2.9.- Otros dispositivos para embarcaciones de recreo

Además de las patentes descritas anteriormente, hay algunas que sólo son para embarcaciones de recreo, pero debemos mencionarlas porque de alguna manera son también antecedentes de los sistemas de amarre automáticos.

2.9.1.- Dispositivo de amarre de Kulick, E.L. de 1960.

El sistema de amarre descrito en la patente de Kulick de 1960 titulada “Mooring device” (Dispositivo de amarre) (Kulick, 1960) está diseñado para embarcaciones de recreo, el barco queda amarrado el muelle por el costado de babor o estribor dependiendo de la posición del muelle, está compuesto por resortes y un sistema telescópico que se adapta a las distintas alturas de marea.

Ilustración 34. Dispositivo de amarre.

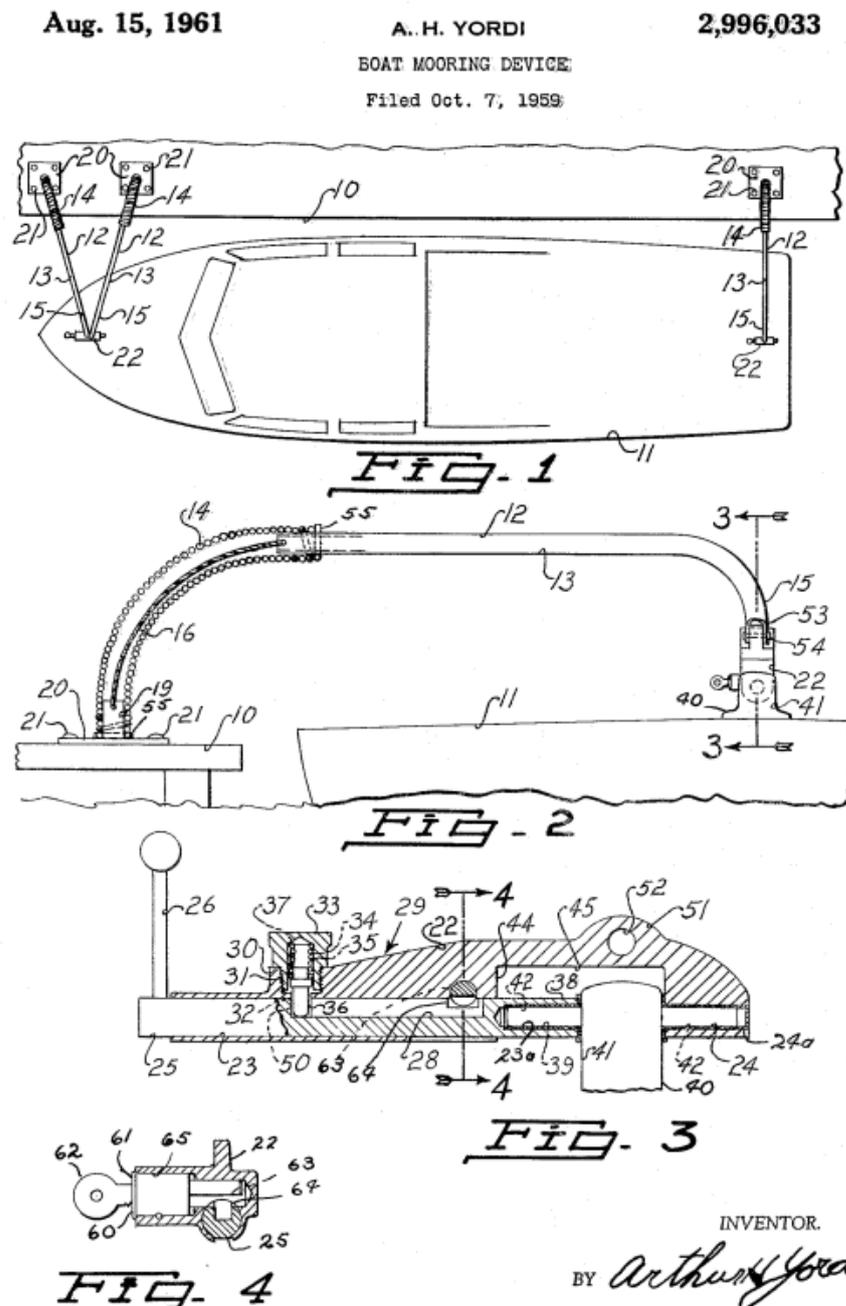


Fuente: Patente de Kulick de 1960.

2.9.2.- Dispositivo de amarre para barcos de Yordi de 1961.

Esta patente “Boat mooring device” (Dispositivo de amarre para barcos) de Yordi (Yordi, 1961) también fue diseñada para embarcaciones de recreo, su principal objetivo es proporcionar un sistema de amarre de fácil y rápida sujeción y liberación.

Ilustración 35. Dispositivo de amarre para barcos.



Fuente: Patente de Yordi de 1961.

Se necesitan tres brazos, cada brazo de amarre comprende un elemento tubular rígido o barra y una extensión flexible.

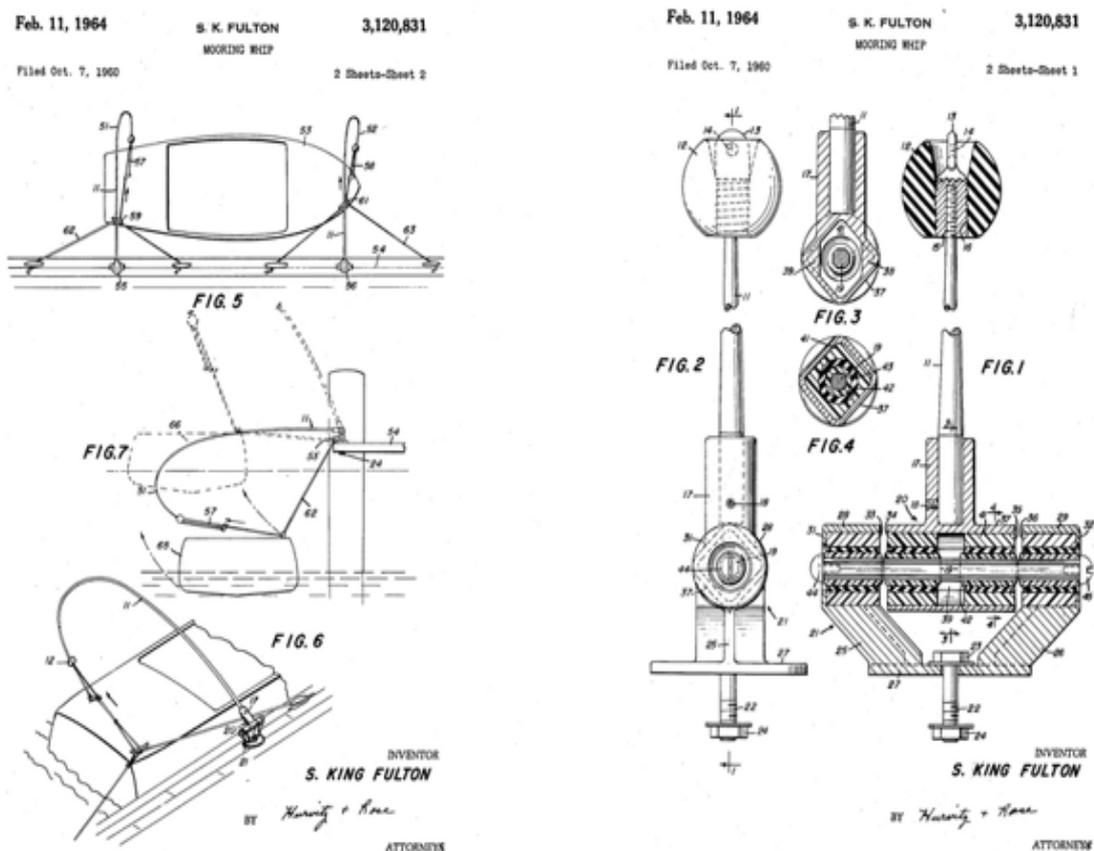
Si no está el barco atracado el brazo queda en posición vertical al muelle.

La embarcación queda sujeta al sistema en crujía por proa y popa. Uno de los brazos está en popa y los otros dos en proa uno tirando de largo y el otro de spring.

2.9.3.- Látigo de atraque de Fulton de 1964^a.

Esta Patente “Mooring Whip” (Látigo de atraque) de Fulton (Fulton, 1964^a) también para embarcaciones de recreo, nos describe un sistema que amarra el barco por proa y popa pero no desde crujía.

Ilustración 36. Látigo de atraque.



Fuente: Patente de Fulton de 1964^a.

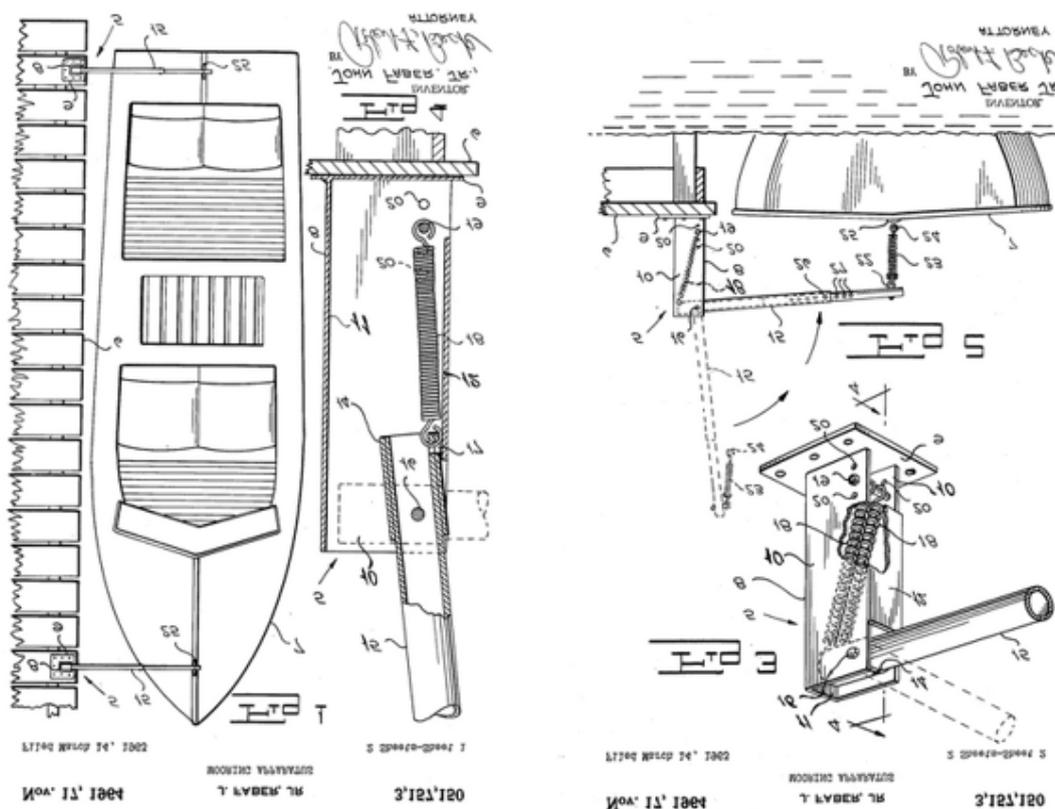
Este sistema le podríamos definir como de amortiguamiento, se diferencia de los anteriores por que no usa resortes para amortiguar los movimientos, en su lugar utiliza unas varillas flexibles de acero fijadas por un extremo al muelle y por el otro al barco. Se ajusta muy bien a los cambios de la marea.

2.9.4.- Aparato de amarre de Faber de 1964^b.

Uno de los objetivos de esta patente denominada “Mooring apparatus” (Aparato de amarre) de Faber de 1964^b (Faber, 1964^b) es proporcionar a las embarcaciones de recreo un sistema de amarre que se monta en el muelle, y que facilita el amarre de la proa y popa. Lo podemos definir como pedestal de amortiguamiento, el sistema es similar al de una barrera de una comunidad vecinos, es un brazo oscilante. Este sistema impide los daños que pueda sufrir la embarcación al chocar contra el muelle debido al movimiento de mareas, tormentas y oleajes causados por otras embarcaciones o barcos.

Este sistema es muy parecido al descrito en la patente de Kulick de 1960, estos dos sistemas están formados por un brazo fijado al muelle, cuando la embarcación está amarrada le mantiene alejado del muelle y así evita cualquier golpe contra el muelle.

Ilustración 37. Aparato de amarre.



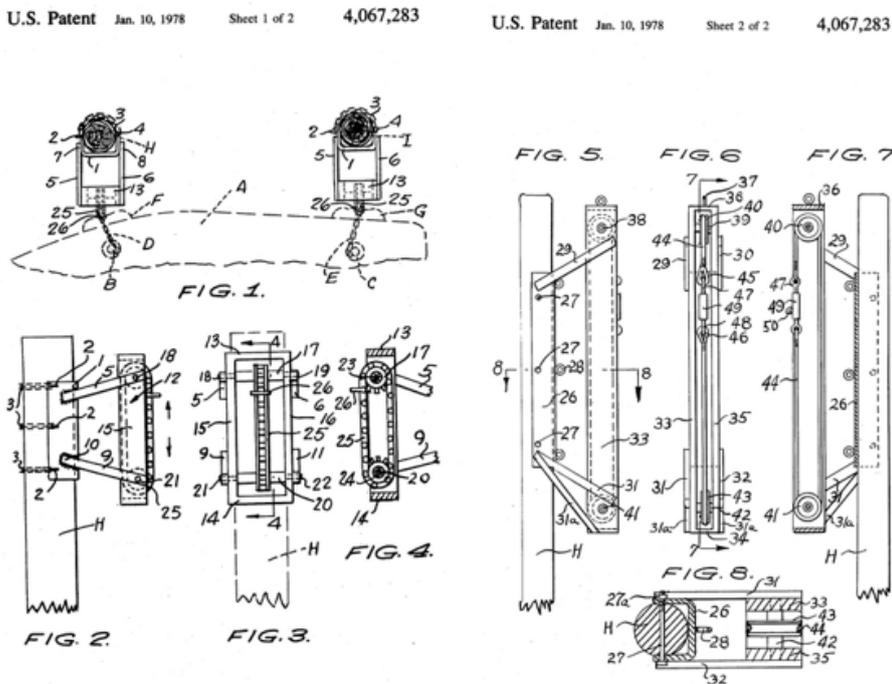
Fuente: Patente de Faber de 1964^b.

2.9.5.- Dispositivo de amarre de buques de Warwick de 1978.

En este sistema “Boat mooring device” (Dispositivo de amarre de buques) de Warwick (Warwick, 1978) se desarrolla un dispositivo que puede adaptarse a la altura de la marea

mediante unos engranajes que hace que suba y baje a la vez que la marea, la embarcación queda amarrado por proa y popa. Este sistema lo podríamos definir como amortiguamiento por cadenas o engranaje.

Ilustración 38. Dispositivo de amarre de buques.



Fuente: Patente de Warwick de 1978.

2.9.6.- Dispositivo de amarre de buques de Booker y Bregoff 1981.

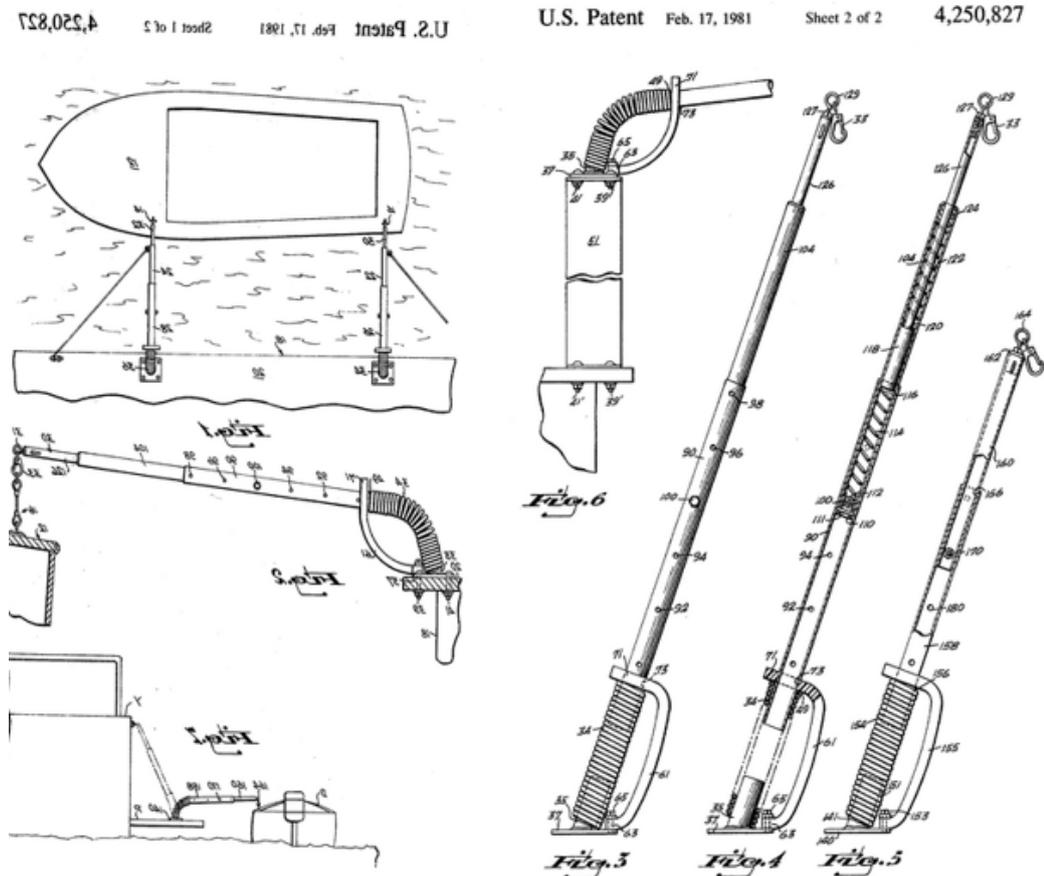
En esta Patente de Booker y Bregoff de 1981 llamada “Boat mooring device” (Dispositivo de amarre de buques) (Booker and Bregoff, 1981) se describe un dispositivo de amarre para embarcaciones de recreo que está basado en dos equipos uno instalado en la embarcación y otro equipo instalado en el muelle, constan de un muelle helicoidal vertical que tiene un codo flexible conectado a un brazo telescópico extensible con un gancho en el extremo distal que conecta con el dispositivo del yate.

Este es otro sistema de amortiguamiento, consta de un mástil amortiguado telescópicamente. Este sistema introduce una mejora mecánica a los sistemas anteriores de amortiguamiento descritos.

Se trata de un dispositivo barato de fabricar e instalar que se puede fabricar de acero inoxidable y aumentar su durabilidad.

Este sistema también evita que el barco sufra daños amortiguando los movimientos producidos mientras está atracado.

Ilustración 39. Dispositivo de amarre de buques.



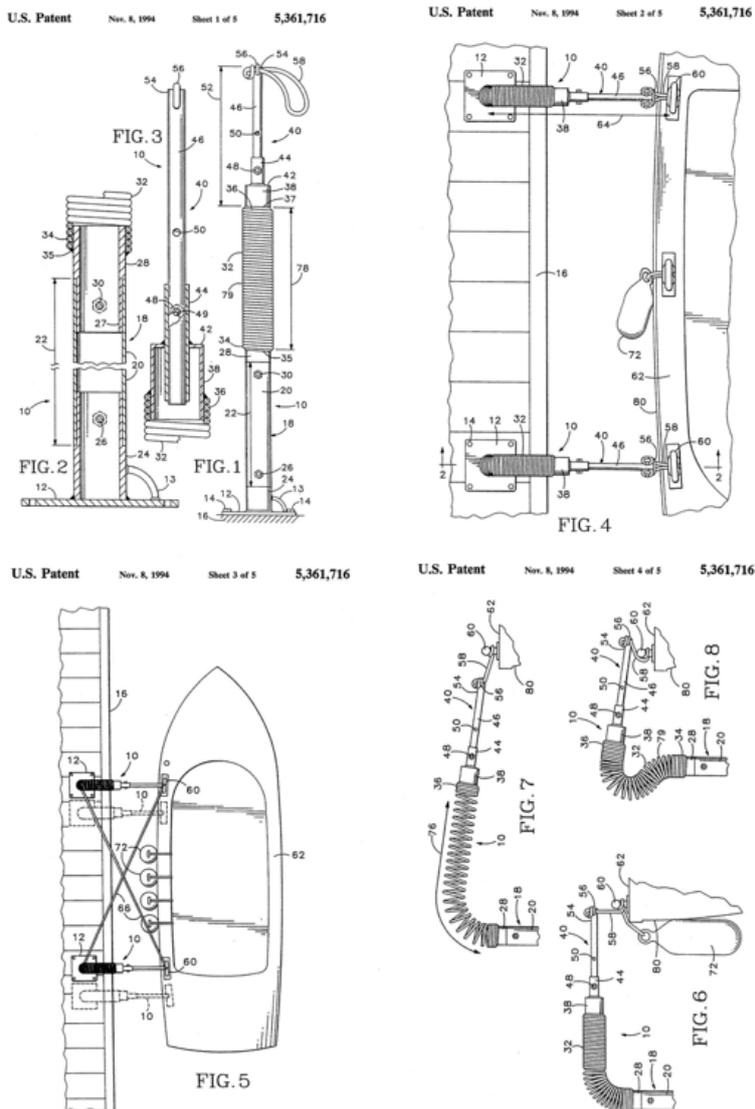
Fuente: Patente de Bregoff de 1981.

2.9.7. - Método y dispositivo de amarre de buques de Cotton de 1994.

En la siguiente patente conocida como Método y dispositivo de amarre de buques, “Boat mooring device and method” de Cotton de 1994 (Cotton, 1994) se describe un sistema para atracar embarcaciones de recreo a un muelle o a una boya, también está formado por un resorte helicoidal, y un brazo de conexión que tiene un extremo distal equipado para ser conectadas a un punto de unión en el barco para limitar el movimiento de la embarcación. Es de amortiguamiento con mástil.

Este brazo cuando está en reposo sin ningún barco atracado queda recogido para que no sea ningún obstáculo en las maniobras de atraque.

Ilustración 40. Método y dispositivo de amarre de buques.



Fuente: Patente de Cotton de 1994.

Otros antecedentes a este sistema son los descritos en las patentes de:

- ✓ Steinhauer de 1914
- ✓ Gorman de 1951
- ✓ Smith de 1951
- ✓ Yordi de 1961
- ✓ Fulton de 1964
- ✓ Faber de 1964
- ✓ Booker y Bregoff de 1981

Este sistema también está diseñado para embarcaciones de recreo de todos los tamaños, es de construcción simple, manejo sencillo y de bajo coste.

2.9.8.- Sistema por látigo de Brushaber de 2003.

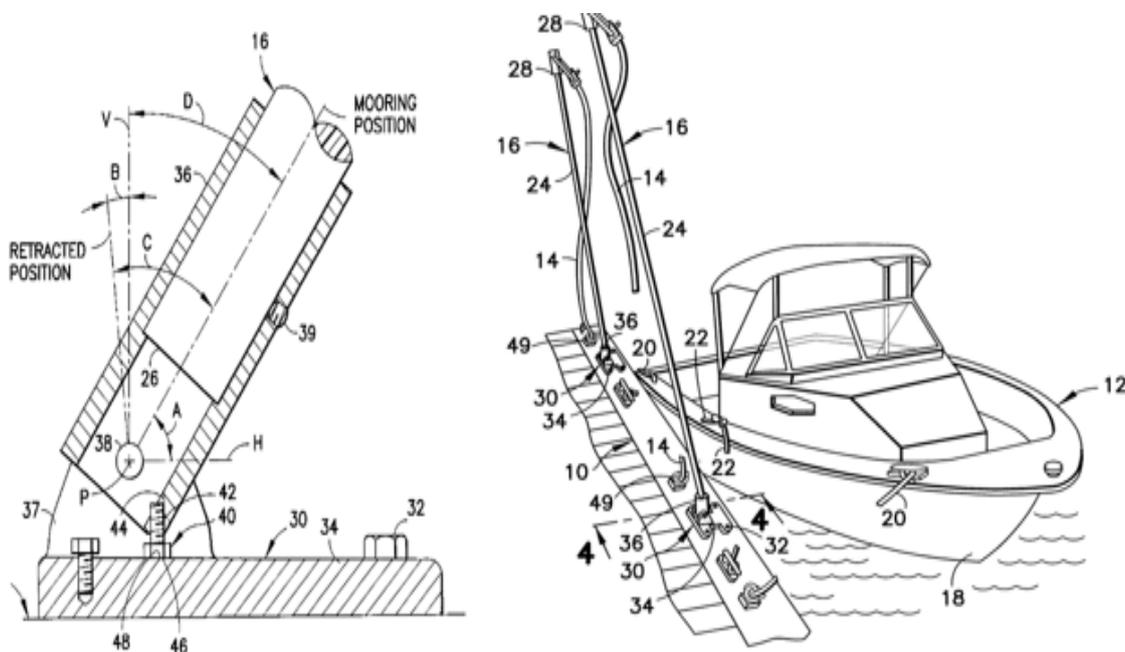
En esta patente denominada “Mooring whip mounting base for selective movement of mooring whip between positive stops determining mooring and retracted positions” de Brushaber de 2003 (Brushaber, 2003) se describe un sistema de amarre para embarcaciones de recreo, también se combina con los cabos del barco.

En este sistema también de amortiguamiento vemos una especie de látigo de amarre que mantiene al barco separado del muelle y que nos ayuda a acercar la embarcación de manera sencilla al muelle cuando necesitamos acceder a ella.

Este sistema como vemos en la Ilustración 42, se combina con los cabos de la embarcación para dejar la embarcación perfectamente y de forma segura amarrada al muelle.

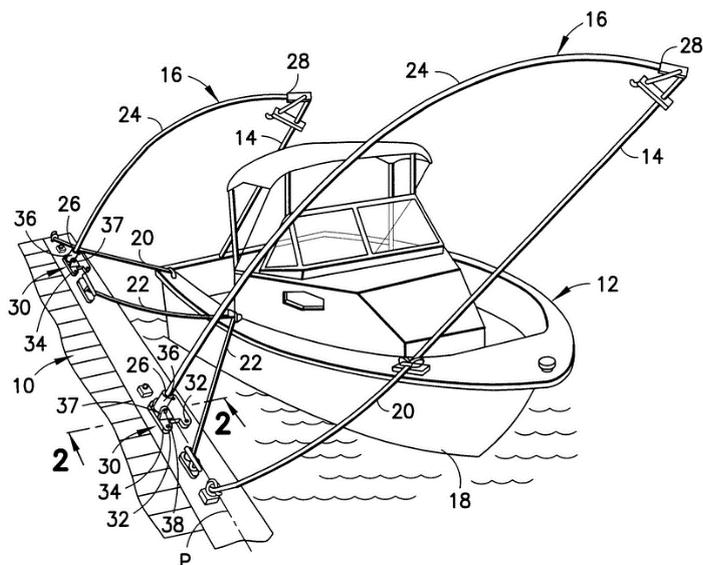
El látigo tiene varias posiciones de manera que la embarcación pueda quedar más o menos cerca del muelle. Cuando necesitamos que la embarcación se acerque al muelle solo es necesario soltar un tope y mover el látigo y la embarcación de deslizará hacia el muelle.

Ilustración 41. Sistema por látigo.



Fuente: Patente de Brushaber de 2003.

Ilustración 42. Sistema por látigo.

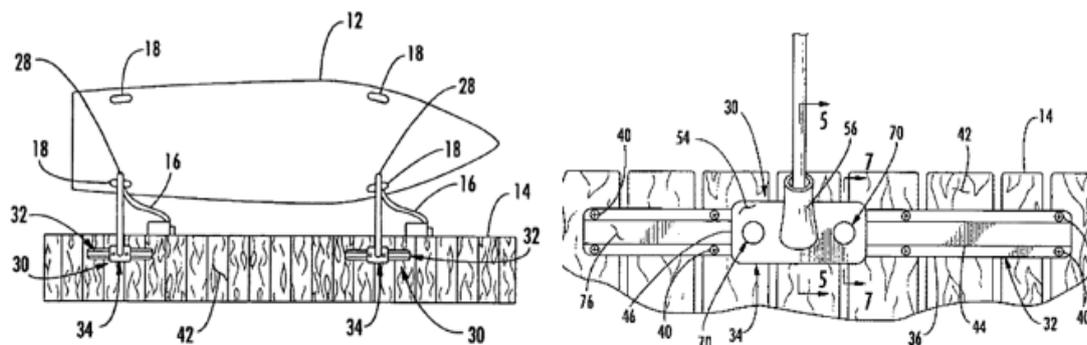


Fuente: Patente de Brushaber de 2003.

2.9.9.- Látigo regulable montado para buques, "Adjustable Boat Whip Assembly" de Forrest (2003).

En esta patente titulada "Adjustable Boat Whip Assembly" (Látigo regulable montado para buques) de Forrest de 2003 (Forrest, 2003) se describe un sistema de amarre para embarcaciones de recreo por medio de una especie de látigos con los cuales el barco queda sujeto al muelle, es ajustable longitudinalmente a lo largo del muelle de esta forma puede ser utilizado por barcos de diferentes tamaños dentro de los límites de los raíles por los que se desplazan los látigos. Lleva un dispositivo en el muelle y otro en la embarcación, como ya hemos visto en algunos de los sistemas anteriores.

Ilustración 43 Látigo regulable montado para buques.



Fuente: Patente de Forrest de 2003.

PARTE II:
LOS SISTEMAS DE AMARRE
AUTOMÁTICO EN EL MUNDO

CAPÍTULO 3.- ANÁLISIS DEL SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO: VENTAJAS E INCONVENIENTES

Como se ha analizado en el capítulo 2, a lo largo de los años se han desarrollado diferentes patentes de sistemas de amarre automático para buques mercantes y de recreo, pero el que interesa es el patentado por la empresa “Cavotec” sistema mediante ventosas de vacío cuya primera patente registrada data del año 2001, Hadcroft and Montgomery (2001) aunque el sistema se comenzase a utilizar en 1998.

En éste capítulo se describirán los diferentes modelos de este sistema de amarre automático mediante ventosas de vacío que hay en el mercado.

Se comenzará haciendo una mención a la empresa que tiene la patente de todos los modelos del sistema de amarre automático mediante ventosos de vacío.

3.1.- Descripción de los sistemas de amarre automático

La empresa que posee y ha desarrollado el sistema de amarre automático por ventosas de vacío es “Cavotec” que es un grupo multinacional de compañías que sirven a distintas industrias como la minería, la construcción de túneles, puertos, sector marítimo, industrias del acero y del aluminio, energía en el mar, aeropuertos, y en general la industria y la automatización.

A principios de los 60 su principal objetivo fue el diseño y la producción de carretes de cable motorizados destinados principalmente a todo tipo de grúas torre tanto de puertos como en el sector de la minería y la construcción.

Ilustración 44. Sistema Cavotec.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Hoy en día produce equipos móviles en todo el mundo y está especializada en diversas aplicaciones.

Consta de seis sedes principales en distintos países, Francia, Alemania, Italia, Noruega y Suecia y cinco centros de producción Australia, China, Alemania y los EE.UU. Para la distribución de productos y apoyo a los clientes tiene veintisiete empresas de venta que, junto con una red de distribuidores, sirven a más de treinta países en los cinco continentes.

Ilustración 45. Otros servicios que ofrece Cavotec.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Su experiencia en puertos e industria marítima es muy amplia y su contribución a la mecanización y la utilización de contenedores en los puertos y terminales se inició en 1963 con el desarrollo de sistemas de cables avanzados. Poco después desarrolló un innovador sistema para proteger los cables de las grúas durante la manipulación. Hoy en día el 30% de todas las nuevas grúas buque-tierra están equipadas con estos carretes de cable.

Ilustración 46. Sistema Cavotec, mooring master.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Esta empresa suministra también otros equipos conocidos para su uso en los puertos y terminales, tales como automatizado “MoorMaster” sistemas de amarre automático y uno de sus modelos es el sistema que se estudia instalar en este trabajo.

3.2.- Sistema de amarre automático

Hay varios modelos de sistemas “MoorMaster” (sistemas de amarre automático) en distintos puertos del mundo, como se verá en el desarrollo del siguiente capítulo, por operadores como Patrick en Australia (Tasmania), también en el puerto de Salalah en Omán y el Puerto de Dover en el Reino Unido.

A continuación podemos ver algunas Ilustraciones del funcionamiento del sistema.

Ilustración 47. Sistema Cavotec, mooring master.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Desde su puesta en marcha estos sistemas “MoorMaster” han realizado más de 12.000 operaciones de amarre sin cabos y sin la intervención de otros equipos adicionales de amarre, esto supone que los buques no tienen que utilizar sus sistemas de amarre tradicionales tales como cabos, cables, maquinillas... para realizar las maniobras de atraque. Así mismo el tiempo de maniobra se acorta, se reduce también la mano de obra y la estancia del buque atracado y se aumenta la seguridad durante la realización de la maniobra de atraque y desatraque.

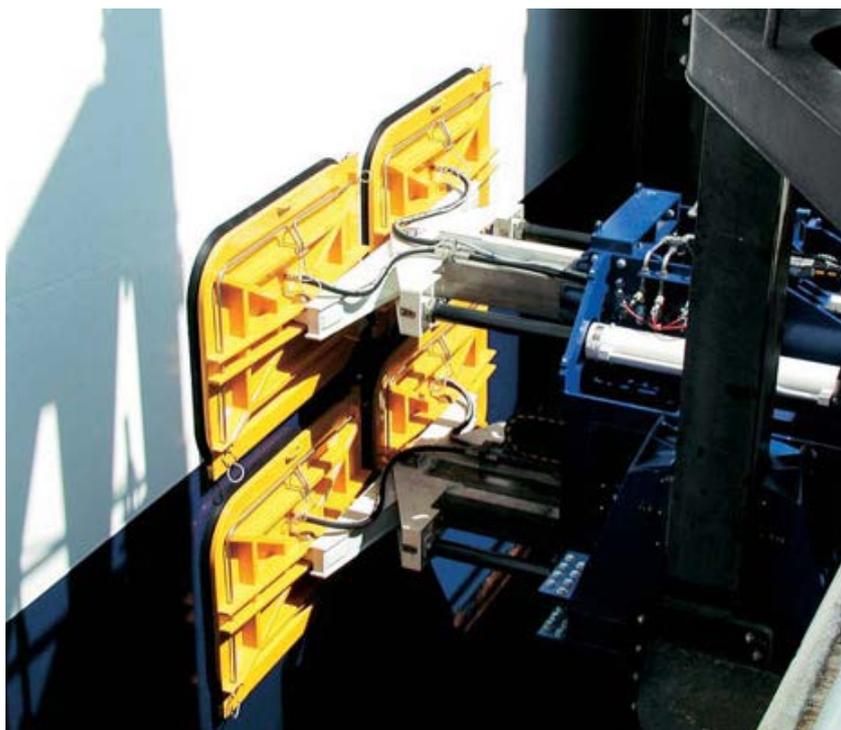
El sistema “MoorMaster” ha dado más flexibilidad al sistema de amarre que el tradicional, en lugar de cabos o estachas, se utilizan las ventosas de vacío para proporcionar un sistema de amarre muy fiable en todas las condiciones meteorológicas, de corriente y marea.

Ilustraciones 48 y 49. Sistema Cavotec, mooring master.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Ilustración 50. Sistema Mooring master de Cavotec.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Cada ventosa dependiendo del modelo tiene una carga de trabajo de veinte, cuarenta u ochenta toneladas de retención, proporcionando un sistema seguro de fijación entre el buque y tierra.

Las ventosas han sido probadas y evaluadas por las sociedades de clasificación “Det Norske Veritas” (DNV) y “Lloyds Register”.

Hoy en día, las almohadillas de vacío estándar instaladas en el sistema “MoorMaster” se pueden adaptar a superficies irregulares y son capaces de deslizarse bajo cargas extremas sin sufrir una deformación importante ni pérdida de fuerza.

Dado que las unidades de amarres deben de colocarse lo más cerca posible de la línea de flotación, para contrarrestar los movimientos del barco una vez fijado al muelle, el sistema tiene mayor eficiencia que el amarre convencional con cabos o cables en ángulo. Mediante el uso de Internet se controla el sistema con un sofisticado software que permite al usuario monitorear el sistema y manejarlo en tiempo real para controlar todas las fuerzas que están actuando sobre el buque y así poder contrarrestarlas.

3.3.- Sistema de control remoto

El software que ha desarrollado esta empresa para controlar el sistema por control remoto (Radio-Control) lo ha llamado “Micro-control System”.

Esta empresa ha participado desde 1984 en el desarrollo y producción de un avanzado sistema de radio control, incluyendo en las últimas unidades un sistema para su uso en áreas con riesgo de explosión.

Todos los sistemas tienen un alto nivel de flexibilidad. Se hacen de módulos estándar que permite personalizar completamente los equipos para satisfacer las necesidades específicas que requiere el cliente.

El sistema de Micro-control de mando a distancia cumple con los más exigentes controles de seguridad y calidad.

Ilustración 51. Operador del sistema Mooring Master mediante de control remoto y mando.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

El MC-3000 Ex radio y MC-3-6 Ex mando a distancia proporcionan un seguro y flexible control de los diversos tipos de maquinaria. Cuentan con la misma funcionalidad que el "ordinario".

Una adición sin embargo es la posibilidad de utilizar un cable de control. Esto proporciona una prueba de avería adicional contra desconexión si se produce un fallo en el sistema de radio control siempre podremos utilizar el cable.

Ambos sistemas pueden ser utilizados o bien en simple o en comunicación dúplex.

El sistema dúplex de comunicación permite al operador recibir mensajes (mensajes de alarma, indicaciones de estado, etc.) a través de la pantalla de control, indicador de instrumentos, etc.

3.4.-Ventajas de seguridad

Con el sistema tradicional de amarre, para comprobar el estado de las amarras, hay que utilizar el personal de abordaje, para que revisen de forma periódica el estado de los cabos o cables, e ir virando o arriando en función del estado de las mismas en cada momento. Por el contrario con el sistema de amarre automático, el operador del sistema podrá controlar el estado del buque en cada momento y desde el ordenador podrá rectificar el sistema.

La evolución de los tipos de barcos, transportes, ritmos de carga y tipos de cargas han evolucionado muy rápidamente, no así los sistemas de amarre que siguen siendo los convencionales, que se han mantenido sin grandes cambios a pesar de la gran evolución técnica dentro de los puertos y buques en las últimas décadas. La solución del amarre automático "MoorMaster" desarrollado por esta empresa, proporciona una evolución acorde con los tiempos que corren.

La base tecnológica de este sistema es el uso de vacío y sistemas hidráulicos en lugar de cabos o cables.

Toda la operación de amarre de un buque queda reducida a la simple pulsación de un botón.

El tiempo medio de un buque para quedar atracado se reduce a menos de 40 segundos y se realiza de manera completamente automática.

Los buques pueden amarrar casi de inmediato sin la necesidad de que utilicen los amarradores del puerto, las operaciones de carga se pueden iniciar mucho antes, puesto que la maniobra de atraque se acorta.

La utilización del “MoorMaster” supone una mayor seguridad para el personal que realiza las maniobras en el buque y en el muelle, porque supone una reducción de los riesgos asociados a la manipulación de las estachas y cables.

También supondría la reducción del personal necesario para realizar las maniobras.

“MoorMaster” puede supervisar en tiempo real y garantizar la seguridad del buque en todo momento, teniendo informado al capitán del buque y a la autoridad portuaria la situación del buque en todo momento.

Una vez que el sistema está activado, las ventosas aseguran el buque. Las unidades están diseñadas para poder usarse con los distintos tipos de casco puesto que tienen la capacidad de adaptarse fácilmente a las distintas superficies y a las irregularidades de las mismas.

Las unidades se conectan cerca de la línea de flotación del buque para así contrarrestar los movimientos en el puesto de atraque.

Basándose en la experiencia de los puertos en los que está funcionando el sistema se podría decir que “MoorMaster” es seguro, fiable y eficiente y se podrían destacar las siguientes ventajas:

- Fijación y liberación rápida. (Normalmente > 40 segundos)
- Una vez instalado el sistema puede ser utilizado por buques de distintos tamaños sin necesidad de modificar las estructuras.
- Evita los retrasos a la espera de amarradores.
- Con sólo un operador es suficiente para activar a distancia el monitor del sistema de amarre.
- Reduciendo los tiempos de maniobra la estancia en el puerto al ser más corta puede significar un aumento del tiempo para poder realizar las navegaciones entre puertos y así reducir la velocidad del buque y ahorrar de combustible.
- Al acortar los tiempos de maniobra también hay reducción del tiempo de funcionamiento del sistema de propulsión principal y auxiliar del buque, y remolcadores, etc., y por lo tanto disminuye las emisiones al medio ambiente, y reduce los costes.

- Este sistema de amarre automático tiene un bajo gasto de energía y un gasto mínimo una vez está en funcionamiento.
- Es un sistema potencialmente menos peligroso y se reduce el riesgo de golpes del casco contra el muelle, lo cual también supone ahorro en el gasto de pintura para el casco (para reparar golpes) y reducción del gasto en el mantenimiento de los muelles.
- Este sistema al no necesitar cabos ni cables supone un ahorro adicional a los barcos.

3.5.-Tipos de muelles y buques con los que opera el sistema de amarre automático

El sistema se puede utilizar en cualquier tipo de muelle y para cualquier tipo de buque, actualmente se está utilizando en: terminales de contenedores, terminales RoRo y de pasaje y terminales de gráneles líquidos y sólidos.

La utilización del este dispositivo supone las siguientes ventajas comunes a los distintos tipos de instalaciones:

- Mejor uso del muelle debido porque se necesita menos espacio entre buques a lo largo del muelle por no necesitar estachas.
- Reducción del riesgo de accidentes en el puerto.
- Supervisión en tiempo real del estado del buque en el puerto durante la operativa y control de las fuerzas que están actuando sobre el buque para contrarrestarlas con el sistema.
- Reducción de las emisiones de CO₂ por el ahorro de combustible al acortar los tiempos de maniobras. Atraque más rápido
- Aumento de los ritmos de carga / descarga de contenedores, debido a que el buque se mantiene muy firme al muelle.
- Mejora de la continuidad de los procesos de trabajo
- Reducción de los tiempos de operación de los remolcadores
- No se necesitan equipos de amarradores, solo un técnico del sistema.

3.5.1.- Terminales de contenedores

Las terminales de contenedores se han convertido en un eslabón crucial en la economía global de hoy. A menudo son el principal centro logístico de una amplia región geográfica que garantiza un intercambio fluido de bienes de consumo, materias primas y productos industriales.

Las ganancias en eficiencia y productividad que se pueden lograr tanto en el buque como en tierra son potencialmente significativas para agilizar la cadena logística. Esto puede tener un gran impacto en el éxito comercial de los operadores de terminales de contenedores y el transporte marítimo.

El sistema “MoorMaster” cierra una gran brecha tecnológica entre los buques portacontenedores y las instalaciones. Así se aproximan más los avances tecnológicos experimentados por las terminales marítimas y los escasos avances sufridos por los sistemas de amarre en los buques.

Ilustración 52. Buque de pasaje atracado utilizando el sistema de amarre automático de Cavotec. Sin cabos.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Los buques portacontenedores son cada vez más grandes y en muchos puertos el atraque de estos grandes buques con cabos y cables fácilmente puede superar los 40 minutos. “MoorMaster” puede garantizar el atraque de estos buques de gran tamaño en cuestión de segundos, permitiendo que el personal de puerto tenga un acceso más rápido al barco para comenzar las operaciones de carga. En los puertos que cuentan con este sistema han notado un aumento en la efectividad de las grúas durante las operaciones afectadas,

debido a que “MoorMaster” proporciona un atraque estable, con pocos movimientos del buque, que proporciona más seguridad en la manipulación de los contenedores, aumentando así los ritmos de carga y descarga, acortando las estancias de los buques en puerto.

3.5.2.-Terminales RoRo

También es una buena solución para terminales RoRo y Ferry con carga RoRo, porque hoy en día el mar juega cada vez un papel más importante en la reducción de atascos en las carreteras. Buenos ejemplos son las líneas marítimas especializados en el transporte de automóviles, que forman una parte integral de la logística dentro de la cadena de fabricación mundial de automóviles, y los transbordadores de pasajeros que son en su mayoría empleados en las rutas de corta distancia, donde la fiabilidad de los horarios y la rapidez de manipulación son de vital importancia.

Como sucede con los buques portacontenedores, los buques RoRo y el transbordo de mercancías RoRo en rutas regulares también ha producido la adaptabilidad de diferentes puertos para poder soportar este tipo de tráfico. Con el aumento del tamaño de los buques, el reto más importante es a menudo la seguridad tanto en el ámbito medioambiental como personal, cuando el espacio del muelle para los cabos es restringido. El “MoorMaster” es muy eficaz para acortar la estancia de los buques en puerto, y permite a las terminales operar en condiciones ambientales adversas que a veces son incompatibles con el sistema de amarre tradicional.

Las terminales que ya operan con “MoorMaster” permiten el atraque de buques de mayor tamaño, sin necesidad de extensiones costosas de muelles, ni duques de alba o similar.

3.5.3.-Terminales de carga a granel (sólidos y líquidos)

El transporte de carga general a granel, tanto de sólidos como de líquidos representa el volumen más grande del comercio y del transporte mundial, siendo la mejor opción el transporte por vía marítima.

Los buques especializados en este tipo de tráfico se clasifican de acuerdo a su tamaño, tipo de mercancía que transportan, tipo de casco.

Los barcos no suelen ser operados en rutas fijas, suelen ser fletados para un solo viaje. Las terminales en las que operan normalmente tienen que compensar al propietario del

buque si se incurre en pérdida de tiempo por retrasos injustificados en las terminales de carga o descarga.

El “Cavotec” hace que la estancia del buque sea más predecible y estable, lo que reduce el tiempo de inactividad debido a condiciones adversas en el puerto.

Se reduce de forma significativa el tiempo de tránsito entre puertos debido a la utilización de menos tiempo en la realización de las maniobras y de las operaciones de carga.

3.6.- Distintos sistemas y modelos del sistema de amarre automático

Hay distintos modelos del sistema de amarre automático dependiendo del uso que se le vaya a dar, potencia de retención necesaria, buques, frecuencias de uso, muelles, etc., se necesitará instalar uno u otro:

3.6.1- Sistema de amarre automático instalado en el propio buque

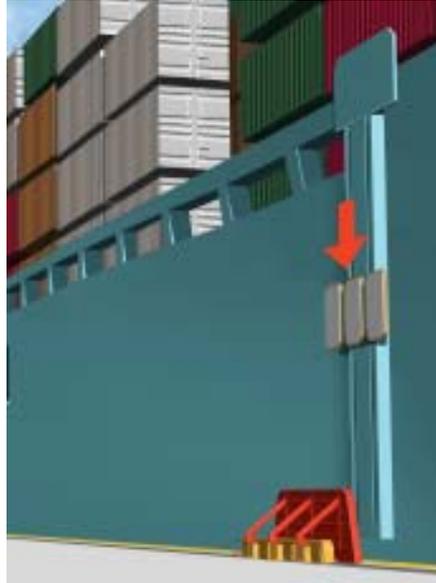
Este modelo está instalado en el casco del buque en lugar de en el muelle, la gama completa se compone de tres modelos diferentes (E, T, I) desarrollados para poder satisfacer mejor las demandas específicas de los clientes.

3.6.1.1.- “Iron Sailor E”

La serie E es una unidad de montaje externo que está diseñado para ser adaptado a la los buques existentes.

La unidad está posicionada en estado de reposo cuando no está operativo. Cuando el buque está en posición de atraque se activa el sistema y los mecanismos de traslación por el casco del buque posicionan los robots a la altura del dispositivo situado en el muelle y se produce el vacío. Quedando el buque sujeto al muelle mediante las ventosas de vacío.

Ilustración 53: Sistema de amarre automático, modelo de las series IronSailor.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

3.6.1.2.- "Iron Sailor I"

La Serie I se instaló en el "Aratere", un ferry de pasajeros por ferrocarril.

Ilustración 54. Sistema de amarre automático, modelo IronSailor, serie T.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

En el 1998 fue el año en que el primer sistema de amarre automático, el "IronSailor Serie I" fue instalado en el casco del buque "Aratere" de 150 m y con un GT de 12.000 toneladas, construido por HJ Barreras, SA en Vigo, España. Este sistema se diseñó para este buque específico basado en el sistema de amarre automático y constaba de 4 robots de 20 toneladas de capacidad de retención cada uno. Las unidades iban instaladas dos en

proa y dos en popa. Se activaban desde el puente de gobierno del buque, las unidades se extendían a través de unas compuertas en el casco que se conectan a una placa de acero instalada en el muelle de atraque.

3.6.1.3.-“Iron Sailor T”

El sistema de la serie T está diseñada para satisfacer las necesidades de los barcos y la navegación interior de los operadores.

La unidad es similar a la QuaySailor Series respecto de la geometría, la diferencia fundamental es que este sistema está instalado en el buque en lugar de en el muelle. Desde la instalación del primer modelo de “IronSailor” se han realizado más de 10.000 amarres automáticos, lo que demuestra el sistema y la tecnología funciona con total fiabilidad.

Ilustración 55: Sistema de amarre automático, modelo IronSailor instalado a bordo de un buque, no en el muelle.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

3.6.2- Sistemas de Amarre automático instalados en el muelle

El “QuaySailor” es el nombre dado a la gama de genéricos basados en los sistemas de amarre a tierra.

Esta técnica representa un importante salto desde el primer “sistema de buque” desarrollado en 1999, ya que no requiere de instalaciones específicas en el barco y puede conectarse directamente al casco de los buques.

El modelo que va instalado en la pared vertical del muelle tiene la ventaja de almacenamiento compacto cuando no está en uso, el sistema en reposo está detrás de la línea de defensa y así se asegura el mínimo impacto durante el atraque. Cuando se activa, el cojín de vacío se extiende hacia el exterior y la conexión de vacío entre el puerto y el casco del buque se establece en pocos segundos.

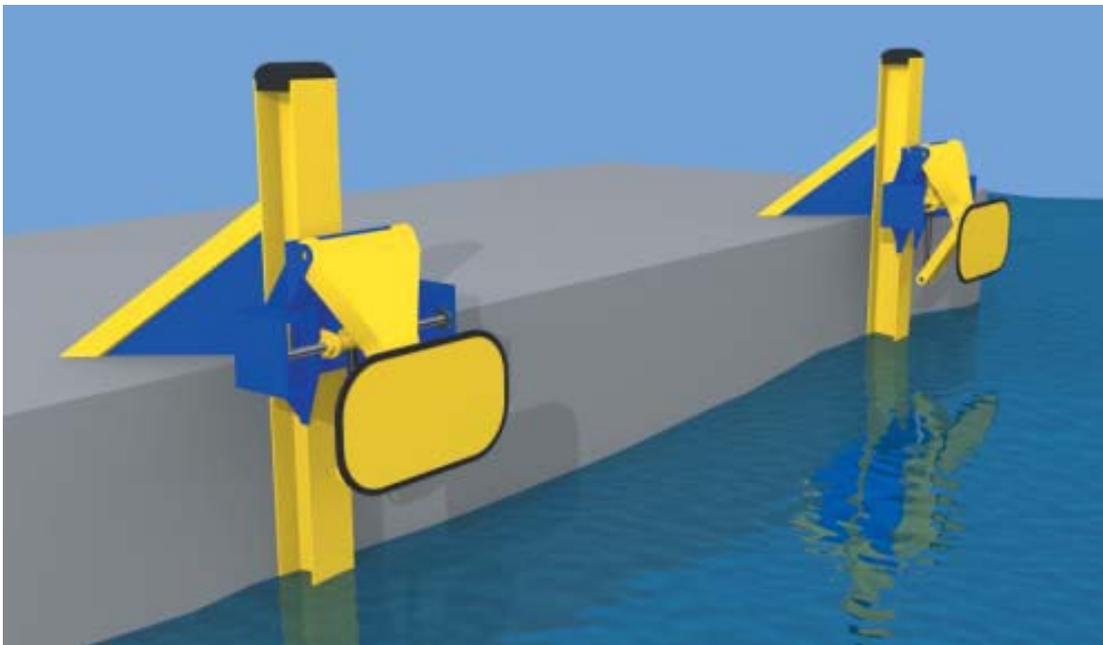
El "QuaySailor" puede ser utilizado por la mayoría de los buques y en tierra y tiene varias configuraciones.

Las características importantes que incluyen:

- 3 dimensiones de actuación y de amortiguación
- Posicionamiento de Buques
- Carga y medida de control
- Seguimiento de movimientos y registro de datos en tiempo real mediante Internet

La primera Serie QuaySailor 40 se instaló en Picton, Nueva Zelanda en 2002 y desde entonces ha conseguido cientos amarres automática seguros. La gama actual de las unidades en tierra se muestran a continuación:

Ilustración 56. Sistema de amarre automático modelo QuaySailor 20.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

3.6.2.1.-“Quay Sailor 20”

El “Quay Sailor” 20 está diseñado para satisfacer las necesidades de buques de alta velocidad de un casco o catamaranes que realizan servicios de corta distancia y con mucha frecuencia.

El sistema está diseñado para que un solo operador con el control remoto pueda en 6 segundos dejar firme el buque a tierra, este sistema tiene una capacidad de retención de 20.000 kg y un alcance de 600 mm.

Ilustración 57. Sistema de amarre automático, modelo QuaySailor 40.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

3.6.2.2.-“Quay Sailor 40”

El “Quay Sailor” 40 es ideal para buques desde 70 metros hasta 250 metros de eslora. El número de unidades necesarias para amarrar de forma segura el barco al muelle va a depender del área expuesta al viento y la meteorología del lugar. En la mayoría de los casos entre 2 y 6 unidades se requiere por atraque. La unidad de este modelo tiene una capacidad de carga de diseño de 40 toneladas de retención y un alcance de 100 mm.

Ilustración 58. Sistema de amarre automático, modelo QuaySailor 80.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

El QuaySailor 40 se instaló en Picton en 2002 y desde entonces ha llevado a cabo miles de operaciones de amarre.

3.6.2.3.-“Quay Sailor 80”

El “Quay Sailor 80” está diseñado para satisfacer las necesidades de los buques más grandes en condiciones meteorológicas adversas. La unidad sube y baja en la parte del muelle para hacer frente a unas variaciones de marea de hasta 10 metros y amortiguar movimientos adelante y atrás de hasta 1 metros por segundo. Por lo general, se requieren tres o cuatro unidades para grandes buques RoRo. La unidad tiene una capacidad de carga de diseño de 80.000 kg y un alcance de 2500 mm.

3.7.-Seguimiento y control de interfaces

Uno de los elementos más importantes de estos sistemas es la interfaz de control.

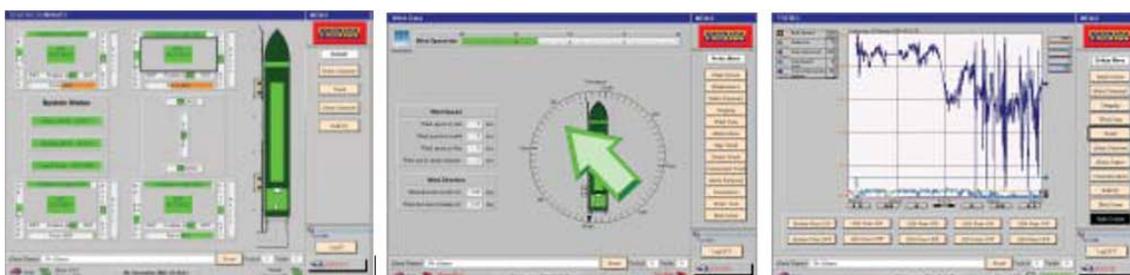
El uso seguro de los enlaces de radio cifrados entre el buque y la costa y de un software compatible, proporciona a todos los usuarios del sistema un acceso de la información en tiempo real. Esto significa que, por ejemplo, las autoridades portuarias pueden monitorizar el sistema de amarre y ver el rendimiento por vía electrónica y de forma remota en tiempo real.

Ilustración 59. Único operador del sistema de amarre automático de Cavotec, desde su oficina y vista de la botonadura utilizada.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Ilustración 60. Pantallazos del ordenador del operador del sistema de amarre automático de Cavotec.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Un solo operador puede controlar todos los barcos que estén utilizando el sistema en todo momento.

Mediante este control remoto el operador este situado o bien a bordo, en el muelle o en la sala de control puede controlar el amarre del barco con sólo dos botones: conectar y desconectar.

Con un software de Internet compatible el capitán del buque o el controlador del sistema en puerto pueden supervisar el rendimiento y el control del sistema de amarre automático de forma remota. Hay varias opciones de visualización para proporcionar de forma inmediata la información de los movimientos del buque durante su estancia atracado en cualquier condición meteorológica, y medir con precisión los datos de viento, corrientes y mareas en tiempo real.

3.8.- Ventajas del sistema de amarre automático

Durante miles de años la industria marítima se ha basado en el uso de cabos, cables y estachas para amarrar los buques. Ha sido un sistema fiable que ha funcionado bien, pero es ahora cuando de alguna manera, está fuera de sintonía con el enfoque de la industria marítima, en mejoras continuas en la productividad y la eficiencia.

- ✓ En cuanto a la seguridad disminuye el riesgo de daño al muelle, al buque y a la tripulación y de los amarradores durante las maniobras de atraque y desatraque.
- ✓ Monitorización continuada de carga y sofisticadas funciones de alarma, transmitida en tiempo real a las operaciones de personal.
- ✓ Aseguran el funcionamiento incluso durante los cortes de energía o pérdida de señales de control.
- ✓ Robusto diseño mecánico con sólo componentes de primer nivel, para asegurar el funcionamiento fiable y económico.
- ✓ Fijación rápida (normalmente > 20 segundos.) y la liberación instantánea.
- ✓ No más demoras por indisponibilidad de los amarradores.
- ✓ Sólo un operador obligado, ubicado en tierra o a bordo, para activar y controlar remotamente el amarre del sistema.
- ✓ No hay interrupción del descanso del personal de a bordo o las horas de descanso obligatorios del buque tripulaciones.

- ✓ Reducción del número de tripulantes para la realización de las maniobras en el barco y el muelle.
- ✓ Estancia más corta en el puerto del buque, lo que se traduce en que el tiempo que se ahorra en puerto lo tiene para navegar, y así poder ir más despacio entre puertos ahorrando combustible y favoreciendo al medio ambiente.
- ✓ Disminución de los costes de la cuenta de escala.
- ✓ Optimización de los muelles debido a que se acortan los tiempos de estancia de los buques.
- ✓ La disminución del tiempo necesario para la realización de las maniobras en el puerto significa menos funcionamiento de la propulsión del buque y de remolcadores, y por consiguiente, disminución las emisiones al medio ambiente en el puerto.
- ✓ Los sistemas de amarres tienen baja la demanda de energía eléctrica y prácticamente no tienen consumo una vez atracado al muelle.
- ✓ Eliminación del material de maniobra a bordo y en los puertos con este sistema, minimización del gasto de pintura y desgaste de las defensas, aumentando así su ciclo de vida.

Ilustración 61. Sistema de amarre automático de Cavotec, modelo QuaySailor 40 instalado en Picton.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

CAPÍTULO 4.- IMPLANTACIÓN EN EL MUNDO DEL SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO

En el presente capítulo se describen por orden cronológico de instalación los distintos modelos del sistema de amarre automático que están funcionando por todo el mundo.

El sistema de amarre automático que se trata en este capítulo está presente en diecinueve puertos hasta el año 2013, según la información recopilada en la <http://www.cavotec.com/> y recibida de la propia empresa, actualmente tienen programado instalarlo en otros tres puertos, como se observa en la tabla 5.

Tabla 5. Relación de los puertos en los que está funcionando.

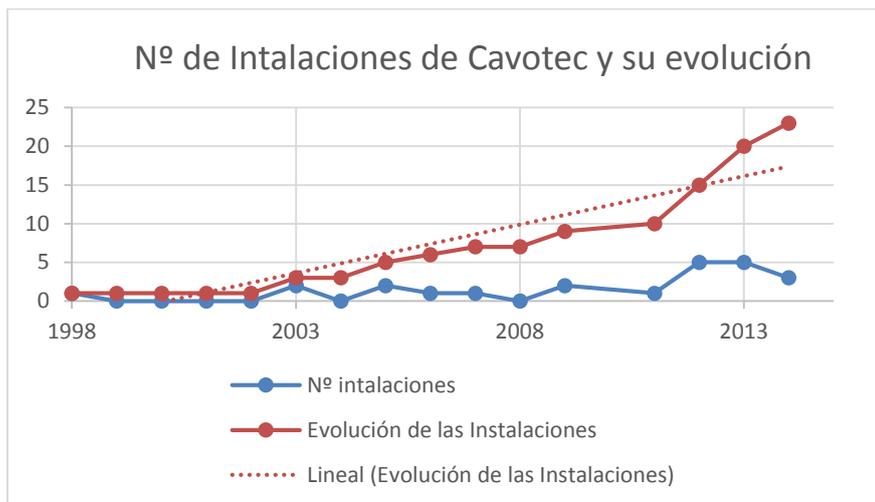
Nº	Puerto	Año	Modelo	capacidad	tipo muelle	nº r
1.	Puerto de Picton, primer sistema, Nueva Zelanda.	1998	MoorMaster™i-400	20 tons	Buque - Muelle	1
2.	Puerto de Picton, modelo prototipo Moomaster 400, Nueva Zelanda.	2003	Prototipo Moomaster 400	40 tons	Pasaje	1
3.	Puerto de Melbourne & Davenport, Australia.	2003	MoorMaster™400	40 tons	Pasaje	4
4.	Puerto de Picton, Nueva Zelanda.	2005	MoorMaster™ 400	40 tons	Pasaje	2
5.	Dover, UK.	2005	MoorMaster™ 800	80 tons	Ro-Ro-pax	1
6.	Muelle nº 6 de Salalah, Oman	2006	MoorMaster™ 600	60 tons	Carga general	4
7.	Muelle St. Lawrence Seaway, Grandes Lagos, Canada.	2007	MoorMaster™200LS	20 tons	Todos	4
8.	Muelle nº 1 de Salalah, Oman.	2009	MoorMaster™200C	20 tons	Containers	12
9.	Puertos de Hov y Sælving, Dinamarca.	2009	MoorMaster™ 400	40 tons	Ro-Ro-pax	2
10.	Puerto de Utah Point, Port Hedland, Australia.	2012	MoorMaster™M200B	20 tons	Bulkcarriers	14
11.	Puertos de Spodsbjerg y Tårs, Dinamarca	2012	MoorMaster™ 400	40 tons	Pasaje	1
12.	Puerto de Wellington, Nueva Zelanda.	2012	MoorMaster™ 400	40 tons	Pasaje	1
13.	Pantalán de graneles líquidos, fuel, Parker Point, Dampier, Australia.	2011	MoorMaster™200D	20 tons	Graneles líquidos	8
14.	Muelle nº 7, Geraldton, Australia.	2012	MoorMaster™200C,	20 tons	Carga general	12
15.	Beirut, Libano.	2012	MoorMaster™ 200C	20 tons	Containers	42
16.	LKAB Narvik, Noruega.	2013	MoorMaster™ 200C17	20 tons	Graneleros	18
17.	Puerto de Ngura, Sudáfrica.	2013	MoorMaster™ 200C17	20 tons	Containers	26
18.	Jan de Nul, Brisbane, Australia.	2013	MoorMaster™ 200C23	20 tons	Draga	8
19.	Housælvig / Samsø Municipality, Dinamarca	2013	MoorMaster™ 400	40 tons	Pasaje	2
20.	Den Helder/ Teso, Holanda	2013	MoorMaster™400A 10	40 tons	Pasaje	2
21.	Puerto de Helsinki, Finlandia	2014	MoorMaster™400A 15	40 tons	Pasaje	6
22.	US Navy, USA	2014	MoorMaster™200E60	20 tons	Buque - Buque	6
23.	Lavik & Oppedal / Norled, Noruega	2014	MoorMaster™200E15	20 tons	Pasaje	2

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de <http://www.cavotec.com/>

En el Gráfico 1 se puede ver la evolución de las instalaciones del sistema en los distintos puertos a lo largo de los años desde la instalación en 1998 del primer sistema en Nueva Zelanda.

Cada puerto requiere un estudio independiente, para comprobar la necesidad de la instalación, la viabilidad de su utilización y definición del modelo más adecuado a las condiciones medioambientales, tipología del muelle y clase de buques que utilizarían el atraque.

Gráfico 1. Aumento de las instalaciones de Cavotec por años.



Fuente: Elaboración propia con datos de <http://www.cavotec.com/>

Hoy en día, MoorMaster™ es una tecnología ampliamente aceptada que ha realizado más de 40.000 operaciones de amarre, con un ratio de seguridad del cien por cien, y está instalado en todo tipo de muelles, puede ser utilizado por distintos tipos de buques tales como ferry, graneleros, RoRo, contenedores.

Gráfico 2. Relación entre el nº de amarres y la evolución.



Fuente: Elaboración propia con datos de <http://www.cavotec.com/>

Los Ingenieros de Cavotec continúan desarrollando sistemas de amarre automático MoorMaster™ y están perfeccionando nuevas formas de tecnología que puede ser utilizada para mejorar la seguridad, la eficiencia operativa y lograr ahorros de infraestructura.

A continuación se detalla por orden de cronológico los diferentes modelos instalados en los distintos puertos en los que está presente el sistema de amarre automático de Cavotec.

4.1.- 1998 Puerto de Picton, primer sistema, Nueva Zelanda

El primer sistema de amarre automático que se utilizó en el mundo fue en este puerto en 1998.

El primer modelo que llegó al mercado fue el MoorMasterTMi-400, y no se instaló en el muelle sino en el casco del ferry de pasajeros “Aratere”, un buque con una eslora de 150 metros y 12.000 toneladas de desplazamiento.

El sistema se utilizaba con una frecuencia de tres veces por día, y estaba instalado en el “Aratere” que hacía la ruta regular de Picton a Wellington.

Ilustración 62. Modelo instalado en Picton.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

El sistema consistía en la instalación en el casco del buque de cuatro Ventosas MoormasterTM con dos almohadillas dos en proa y dos en popa, con una potencia de 20 toneladas de retención por unidad.

Las unidades se activaban desde el alerón del puente y se extendían a través de unas puertas del casco para insertarse en unas placas de acero móviles instaladas en la cara muelle.

Este i-moormasterTM realizó más de 17.000 amarres automatizados.

El sistema operó desde 1998 hasta 2009 pero a partir de 2003 se simultaneó con un prototipo que se instaló en el muelle, este sistema se describió en la patente (Montgomery, Rositer ,2002) y en el punto siguiente.

4.2.- 2003 Puerto de Picton, modelo prototipo Moormaster 400, Nueva Zelanda

En 2003 se instaló en el muelle de Picton un prototipo del modelo Moormaster 400, esta vez se instala un robot de amarre de 400 KN en el muelle, con una capacidad de retención total de 40 tons, similar a la potencia de retención de un remolcador grande.

El sistema también será utilizado por el mismo barco el “Aratere” con una frecuencia de tres veces al día.

Esta vez el operador es Kiwirail Ltd pero el propietario es Cavotec que instala el prototipo en 2003 y lo utilizará hasta el 2005 año en el que instala el siguiente modelo descrito en el punto 4.4.

Ilustración 63. Prototipo instalado y operando en Picton desde 2002 a 2005.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

4.3.- 2003 Puerto de Melbourne & Davenport, Australia

En estos dos muelles también se instala el modelo MoorMasterTM400, está instalado sobre el cantil del muelle, la capacidad de retención es la producida por 4 robots x 400KN= 160 toneladas y la frecuencia de utilización es de un atraque por día.

El sistema está instalado en los dos muelles de la línea regular en Melbourne y en Davenport.

El operador y dueño del sistema de Searoad Holding PTy Ltd. y opera desde 2003.

Ilustración 64. Modelo MoorMaster™400, instalado en Melbourne.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

La tecnología de amarre automático moormaster™400 se instaló primero en el puerto de Melbourne, muelle utilizado por buques RoRo como el “Searoad Tamar” de 149 metros de eslora y 13.697 toneladas de desplazamiento, y el “Mersey Searoad” de 118 metros de eslora y 7.928 toneladas de desplazamiento.

Este sistema moormaster™ consta de cuatro unidades, cada MM400 tiene una capacidad de retención nominal de 40 toneladas. Las unidades se colocan por parejas, uno para la proa y el otro para popa, el modelo instalado es similar a los sistemas moormaster™ empleados en Picton, Nueva Zelanda, estos TM400s se activan desde el alerón del puente, que se extiende a pegarse al casco del buque.

4.4.- 2005 Puerto de Picton, Nueva Zelanda

En el año 2005 se sustituye el prototipo por el modelo MoorMaster™ 400, este modelo se describe con las patentes de Montgomery and Rositer (2003 y 2005). Este modelo es el que está instalado en el puerto de Melbourne, Australia, desde 2003 y el que se quiere instalar en el puerto de Santander.

En el muelle de Picton se instalan dos robots con una potencia de 400 Kn que hacen un total de 80 tons de potencia de retención.

Este muelle es utilizado también tres veces al día, pero esta vez por el buque “Kaitaki” de 181 metros de eslora y que hace línea regular entre Picton y Wellington.

La terminal es operada por el propietario de la instalación desde 2005 kiwiRail Ltd.

Ilustración 65. Modelo MoorMaster™ 400.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

4.5.- 2005 Dover, UK

En junio de 2005 Cavotec instaló, para realizar ensayos y pruebas, la unidad de amarre automático más potente del mundo, el MoorMaster™ 800 con una capacidad de retención de 80 toneladas por unidad, en un muelle de nueva construcción del puerto de Dover en el Reino Unido.

Se instaló en el puerto de ferry de mayor actividad en el norte de Europa, este muelle de Dover 8 es utilizado por transbordadores Ro-Pax de hasta 185 metros de eslora total.

Ilustración 66. Modelo de prueba MoorMaster™ 800.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

La alta frecuencia de uso de los muelle y las condiciones de fuertes vientos hasta 60 nudos y la altura de las olas de hasta un metro hace que sea necesaria la instalación de un sistema da amarre automático que pueda soportar estas condiciones tan extremas.

Durante las pruebas el modelo MoorMaster™ 800 llevó a cabo con éxito unas 750 operaciones de amarre, lo que demuestra la eficacia de MoorMaster™ amarre automatizada aún con grandes variaciones de altura de marea y las condiciones ambientales extremas.

En 2007, después de 750 amarres con éxito el ensayo concluyó y la unidad se desinstalo.

4.6.- 2006 Muelle nº 6 de Salalah, Omán

En este muelle el modelo instalado es el MoorMaster™ 600, este sistema también está instalado sobre el muelle pero actúa por debajo del cantil del muelle. La capacidad de retención es de 240 tons, 4 unidades x 600 KN, la frecuencia de utilización del muelle es de unas tres o cuatro veces por semana, también es operado por APM y es propiedad de la Autoridad Portuaria de Salalah en Oman, los buques que los utilizan son de hasta 350 metros de eslora y de 130.000 GTs y el sistema de amarre automático lleva funcionando en este puerto desde el año 2006.

Ilustración 67. Modelo instalado en el muelle nº6 de Salalah de Oman.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

4.7.- 2007 Muelle St. Lawrence Seaway, Grandes Lagos, Canadá

El modelo instalado sobre este muelle es el MoorMaster™200LS, formado por 4 unidades de 200Kn cada uno, una capacidad total de 80 tons.

El muelle es utilizado con una frecuencia de varias veces por día entre 5 y 15 veces, y utilizado por distintos buques de eslora hasta 225 metros de eslora.

El operador y propietario de este muelle es ST. Lawrence Seaway Management Corporation (SLSMC).

Desde 2007 Cavotec ha trabajado en el desarrollo del mejor sistema posible MoorMaster™ para uso en las esclusas. Las primeras instalaciones se realizaron en la esclusa nº 7 del canal de Welland con 2 versiones diferentes MoorMaster™. Posteriormente el Canal de San Lorenzo y Cavotec trabajaron juntos para redefinir un sistema con una mayor capacidad y rendimiento que satisficiese las demandas de todo el sistema de esclusas de la vía marítima de San Lorenzo y sus clientes. El resultado fue un nuevo sistema de la Generación IV, conocido como el modelo MM400L22.

Ilustración 68. Modelo MoorMaster™200LS



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Ilustración 69. Modelo MoorMaster™200LS.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

El modelo MM400L22 se instaló en 2013 en la esclusa nº 4 de Beauharnois, con un cambio de nivel de 13,5 millones litros de agua. Tras la finalización de las pruebas a fondo durante 2013 el sistema amarró con éxito más de 97% de todos los buques que transitaron por el canal marítimo.

El sistema MM400L22 se instalará en varias fases durante los próximos 3 años en las 13 esclusas restantes.

El modelo MM400L22 tiene todas las características típicas del producto MoorMaster™, y la capacidad de operar en un rango de temperatura de entre -25 y + 50 ° C.

4.8.- 2009 Muelle nº 1 de Salalah, Omán

En el muelle nº 1 del Puerto de Salalah de Omán están instalados sobre el muelle pero trabajan por debajo del cantil del muelle como podemos ver en la Ilustración 70, el modelo instalado es el MM200C, su capacidad de retención 240 tons. Están instalados 12 robots de 200 KN.

El muelle se usa unas tres o cuatro veces por semana por diferentes buques Containeros de hasta 362 metros de eslora.

El operador del sistema de APM Terminals, utilizado por buques de Maersk y MSC y el dueño es la autoridad portuaria de Salalah, esta terminal está operando desde 2009.

Ilustración 70. Modelo instalado en el muelle de Salalah, Omán.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

4.9.- 2009 Puertos de Hov y Sælving, Dinamarca

En los puertos de Hov y Sælving en Dinamarca el modelo que está instalado es el MoorMaster™ 400 instalación que se quiere realizar en el puerto de Santander y de la cual se está realizando el estudio.

También está instalado sobre el muelle y opera por debajo del cantil. La capacidad de retención producida por los 2 robots x 400 KN es de 80 tons., se utiliza en un muelle en

el que atraca el buque “Kanhave” de 91 metros de eslora que hace la ruta regular Hov – Sælving (Samsø).

El operador y dueño de este sistema de amarre automático es Færgen A/S desde 2009.

En estos puertos se vio la necesidad de disminuir los tiempos utilizados en las maniobras para poder optimizar al máximo la línea regular de pasaje entre Hov en la parte continental de Dinamarca y Saelvig en la isla de Samsø.

La empresa NFS intenta automatizar tantos procedimientos como sea posible incorporando a la línea un buque de nueva construcción de 91 metros de eslora.

Ilustración 71. Modelo instalado en este puerto de Dinamarca. Modelo similar a instalar en Santander.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Los dos “MoorMaster 400s™” están instalados en los dos puertos de esta línea, hacen que las maniobras sean más seguras y que se necesite menos tripulación para la realización del atraque o salida, incluso en condiciones meteorológicas adversas, en veinticinco segundos y a través de un sistema de control remoto ubicado en el puente del buque este queda amarrado o liberado.

El MoorMaster™ se ajusta automáticamente a las condiciones de marea, manteniendo al buque constantemente en posición óptima. El casco del barco también está más protegido porque MoorMaster™ 400 le mantiene continuamente a una distancia predeterminada alejado de las defensas del muelle.

4.10.- 2011 Pantalán de gráneles líquidos, fuel, Parker Point, Dampier, Australia

En este pantalán el modelo instalado es el MoorMaster™200D, está ubicado en el pantalán y compuesto por 8 unidades de 200 KN cada uno, lo cual hace un total de capacidad de retención de 160 tons.

El pantalán es utilizado con una frecuencia de una vez por semana, y lo usan buques tanque de hasta 60.000 tons de desplazamiento (dwt).

El operador y propietario de la instalación es Rio Tinto y lo instaló en 2011.

Estas unidades pueden resistir viento de hasta 45 nudos y oleajes de hasta un metro de altura de ola.

Ilustración 72. Modelo MoorMaster™200D, instalado en un pantalán.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

4.11.- 2012 Puerto de Utah Point, Port Hedland, Australia

El modelo instalado en este puerto es el MoorMaster™M200B, está instalado en el frente del muelle, como si fuese una defensa. El muelle de Hedland está situado al oeste de Australia.

Su capacidad de retención es la producida por 14 robots de 200 Kn cada uno, un total de 280 toneladas. La regularidad de uso del sistema es una vez cada dos días y los utilizan buques que no hacen línea regular, este atraque puede albergar barcos bulkcarriers de hasta 295 metros de eslora.

Hay un total de catorce unidades del modelo MoorMaster™ M200B con una capacidad de retención de 2.800 Kn, espaciados 14 metros.

El operador y el propietario del sistema es la autoridad portuaria de Port Hadland y lo instaló en 2012.

Ilustración 73. Modelos MoorMaster™M200B instalados para atraque de bulkcarrier.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

4.12.- 2012 Puertos de Spodsbjerg y Tårs, Dinamarca

El modelo instalado en estos puertos también es el MoorMaster™ 400, instalado sobre el cantil de muelle, tiene una capacidad de retención de 400KN = 40 tons, se utiliza con una frecuencia de 36 amarres por día, los buques que utilizan estos atraques son los ferris de

99 metros de eslora “Lolland” y “Langeland” que cubren la línea regular entre Spodsbjerg y Tårs.

El operador y dueño de esta terminal es Færgen A/S y opera desde 2012.

Ilustración 74. Modelo MoorMaster™400 instalado en el muelle de Spodsbjerg/ Tårs.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Los dos transbordadores hacen unas 36 maniobras cada día, lo cual significa que necesitan reducir los tiempos y agilizar al máximo las maniobras. Por eso estos modelos MoorMaster™400 están instalados en los dos puertos de escala de la línea regular, reduciendo costes de tripulación, material de maniobra (cabos y estachas), y de mantenimiento de maquinillas.

4.13.- 2012 Puerto de Wellington, Nueva Zelanda

En el puerto de Wellington se instaló en el año 2012 el sistema de Cavotec modelo MoorMaster TM 400 para poder tener el mismo sistema que en el puerto de Picton, y así tener las mismas condiciones de maniobrabilidad en los dos puertos de la línea regular.

Ilustración 75. Modelo utilizado en Wellington.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Al igual que en el puerto de Picton el barco que lo utiliza es el ferry de 180 metros de eslora “Aratere”, sustituido más adelante por buque el “Kaitaki” de 181 metros de eslora. La frecuencia de uso del muelle es también de tres veces por día y lo opera el propietario del sistema Kiwi Rail Ltd.

4.14.- 2012 Muelle nº 7, Gerald ton, Australia

En este muelle el modelo instalado es el MoorMaster™200C, está instalado sobre el cantil del muelle, el sistema de amarre automático está formado por 12 unidades de 200 Kn cada una, lo cual hace una capacidad total de retención de 240 tons.

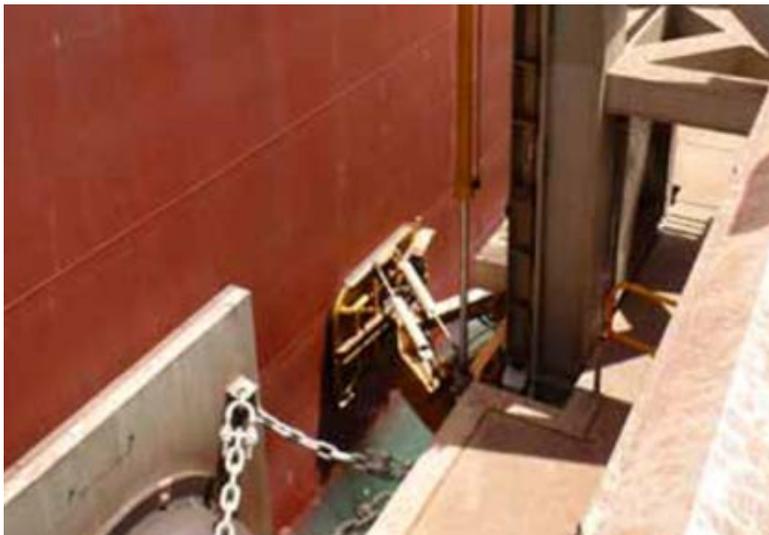
El muelle se usa con una regularidad de tres o cuatro veces por semana, en él atracan buques de distintos tamaños, generalmente bulkcarriers panamax.

Dimensiones máximas de un buque Panamax:

- **Eslora:** 294,1 metros
- **Manga:** 32,3 metros
- **Calado:** 12 metros, medido en agua dulce tropical (la salinidad y temperatura del agua afectan su densidad y por tanto el calado de los barcos)

El operador de este muelle es Karara Mining desde 2012.

Ilustración 76. Modelo MoorMaster™200C.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Este puerto debido al continuo oleaje que entra en el puerto sufría muchos retrasos en las operaciones de carga, y en alguna ocasión los barcos debían salir del muelle y esperar

fondeados a que calmase el oleaje, por eso se vio la necesidad de instalar el sistema de amarre automático.

4.15.- 2012 Beirut, Líbano

En el puerto de Beirut se necesitaba hacer una ampliación del muelle de 500 metros, pero económicamente era inviable debido a la falta de protección de los buques atracados. Tras la realización de estudios numéricos efectuados por Cavotec se demostró claramente la superioridad de MoorMaster sobre los cabos en este tipo situaciones, y el puerto optó por implementar esta tecnología después de haber considerado también los beneficios añadidos de abreviar los tiempos, y el aumento de los niveles de seguridad en la terminal.

El sistema MoorMaster™ 200C cubre toda la extensión solo de 500 metros a lo largo del muelle de 1100 metros del muelle nº 16.

Hay un total de 42 unidades del modelo MM200C17 instaladas, cada unidad es de 200 KN, que hacen que en total el sistema tenga una capacidad de retención de 840 tons.

El proyecto fue encargado a principios de 2012 y comenzó a operar en 2014. Las unidades se montaron por pares, con una unidad en cada lado de cada defensa. Cada pareja comparte un sistema de servicio hidráulico y de vacío, que ha sido diseñado para que se pueda sumergir temporalmente durante condiciones meteorológicas adversas como tormentas que provocan fuertes oleajes que hacen que las olas rebasen el cantil del muelle.

El sistema MM200C17 tiene todas las características típicas del producto MoorMaster™, incluyendo la operación remota, el control activo de la posición de los buques, el autodiagnóstico y la capacidad de operar en temperaturas de hasta + 50 ° C.

Ilustración 77. Modelo MM200C17.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

4.16.- 2013 LKAB Narvik, Noruega

En el muelle de Narvik en Noruega está instalado el modelo de Cavotec MoorMaster™ 200C17, el sistema está formado por 18 unidades de 200 Kn cada una que hacen una capacidad total de retención de 360 toneladas.

Está operado por la empresa constructora PEAB e instalado en el nuevo muelle de mineral de hierro de LKAB en Narvik, en el norte Noruega.

En este muelle pueden atracar graneleros de hasta 185.000 toneladas de peso muerto y 305 metros de eslora. Ésta es la primera instalación de MoorMaster™ en un muelle de gráneles sólidos en Europa, y la primera situada en el Círculo Polar Ártico.

Las unidades MM200C17 de este proyecto han sido diseñadas para soportar los duros inviernos y las exigentes condiciones de funcionamiento comunes a su ubicación.

La instalación LKAB de Narvik mueve entre 15 y 20 millones de toneladas de mineral de hierro al año. La frecuencia de utilización del sistema, es decir, del atraque es de unas tres o cuatro veces por semana.

Las unidades MoorMaster™ asegurarán que estos buques de gran envergadura sean amarrados de forma rápida y segura y permanezcan así en condiciones óptimas para garantizar la eficiencia y seguridad de las operaciones de carga y descarga.

Ilustración 78. Modelo MM200C17.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

4.17.- 2013 Puerto de Ngqura, Sudáfrica

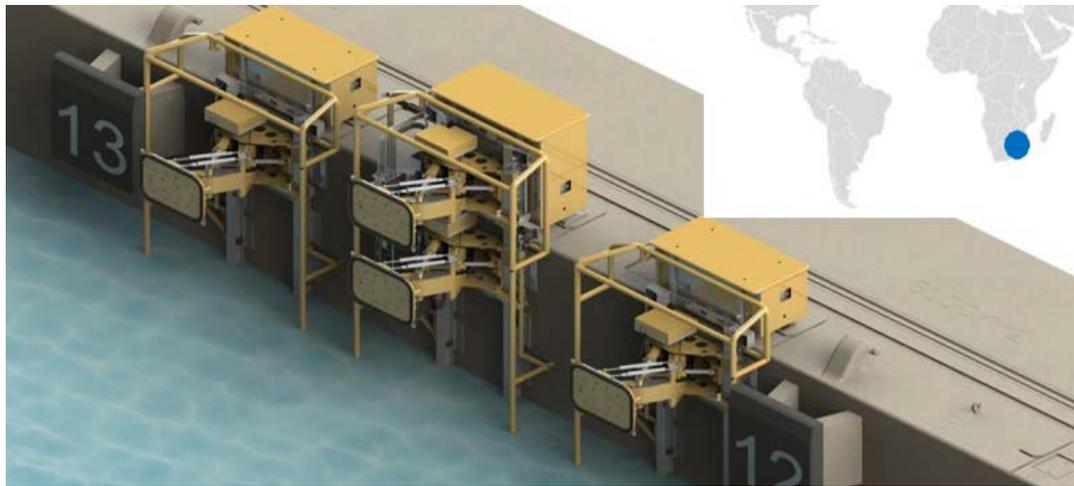
La Autoridad Portuaria de Transnet concedió licitación a Cavotec para la instalación de su sistema de amarre automático en el Puerto de la Ngqura en la terminal de contenedores. Cavotec diseñó, fabricó e instaló 26 unidades del modelo MoorMaster™ 200C17 para los cuatro muelles de contenedores de este puerto en la costa este de Sudáfrica. Cada

unidad tiene una potencia de retención de 20 toneladas que hacen un total de 520 toneladas de capacidad de retención.

El proyecto se construyó en dos fases. La primera fase fue la instalación y realización de pruebas en el muelle D100 y la segunda fase fue la instalación en los otros tres muelles de contenedores.

Las unidades se instalaron para amarrar buques portacontenedores de 1.500 TEU hasta 13.000 TEU y de hasta 366 metros de eslora. En términos de la licitación, Cavotec capacitó a técnicos locales para proporcionar el soporte técnico después de la entrega de las unidades.

Ilustración 79. Modelo MoorMaster™ 200C17.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

El Puerto de Ngqura experimenta los efectos de olas de onda larga significativa y de fuertes vientos, especialmente durante el invierno, provocando movimientos excesivos en los barcos a lo largo del muelle que interfiere con las operaciones de carga y descarga de los contenedores con la grúa. Estas interferencias provocadas por las condiciones meteorológicas adversas producen retrasos en las operativas por inoperatividad de la terminal, la instalación de este sistema de amarre automático de Cavotec, reducen estas paradas y aumentan la operatividad y eficiencia de las terminales.

4.18.- 2013 Jan de Nul, Brisbane, Australia

En 2013 se contrató a la empresa Jan de Nul para ejecutar los dragados necesarios para la obtención del relleno necesario para construir una segunda pista de aterrizaje en el aeropuerto de Brisbane.

Este proceso consistía en el dragado de arena del fondo del mar y la descarga en una ubicación fija, este ciclo de dragado y descarga se debía hacer en 12 horas pero durante las últimas etapas de la planificación del proyecto se descubrió la complicación del amarre de la draga/ tolva “Charles Darwin” para la descarga del material de relleno, según obligaba la autoridad portuaria de Brisbane y utilizando métodos convencionales hacía imposible cumplir con el requisito de tiempo de ciclo de 12 horas. Esto hizo imposible que Jan de Nul cumpliera con las obligaciones de entrega del relleno para el aeropuerto de Brisbane a tiempo.

Para solucionar el problema se propuso la utilización de MoorMaster™ para reducir los tiempos de amarre de 2 horas a aproximadamente 30 segundos.

Cavotec pudo suministrar a JDN ocho MoorMaster™ MM200C23 de un cliente anterior y así acortar el periodo de entrega. Cavotec se encargó de probar los robots en la fábrica y proporcionar los detalles de ingeniería para ayudar en la construcción de defensas, del pantalán, instalación, puesta en marcha y soporte de re-garantía de las unidades como si fuesen nuevas por un período de 12 meses.

- Se instalaron 8x MM200C23 (8x20 toneladas)
- La frecuencia de uso es de varios atraques por día con una draga de 183 m.

Ilustración 80. Modelo MoorMaster™ MM200C23.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

4.19.- 2013 Housælvig / Samsø Municipality, Dinamarca

La empresa de Cavotec recibió un pedido de la autoridad portuaria de Hou y Sælvig en Dinamarca para instalar y poner en marcha dos unidades del modelo MoorMaster™ MM400, similares a los que llevan funcionando en otros muelles de estos dos puertos desde 2009, en dos nuevos muelles de pasajeros para buques de turbinas de LNG, el

proyecto era instalar un robot en cada puerto de escala de la línea regular del transbordador entre Hou en Jutlandia y Sælvig en la costa oeste de la isla de Samsø.

El problema de estos dos puertos es el fuerte viento de más de 40 nudos de velocidad, y las variaciones de la altura de la marea, por eso necesitaba agilizar las maniobras y aumentar la seguridad durante el tiempo del buque atracado. La capacidad de retención de estos equipos es de 40 toneladas por cada uno.

La frecuencia de uso es de siete atraques diarios en cada puerto, el buque que realiza las travesías es un transbordador de 99 metros.

4.20.- 2013 Den Helder/ Teso, Holanda

La empresa Teso que realiza una ruta de ferry de alta velocidad entre Den Helder y la Isla de Texel con 2 transbordadores de pasajeros. Tras el aumento de la presión de los municipios para mejorar la calidad medioambiental del aire en las zonas portuarias, Teso decidió cambiar los procedimientos de atraque de los ferris que mantenían sus motores funcionando al ralentí durante todo el tiempo en el muelle. Esto fue posible gracias a la instalación de dos unidades MoorMaster™400A10 que aseguraban el amarre seguro tan solo con pulsar el botón del mando a distancia del control por radio a bordo del ferry.

Las dos unidades MM400A10, son capaces de realizar una fuerza de sujeción de 400 kN, y están fijadas a una estructura flotante de acero (pontonas) en la terminal.

Teso se está beneficiando no sólo del amarre muy rápido y seguro de sus transbordadores, sino que también ahorra mucho combustible.

Ilustración 81. Modelo MoorMaster™400A10.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Además, el ahorro de tiempo ha permitido a la línea de ferry para mantener mejor el horario. El sistema MM400A10 tiene todas las características típicas del producto

MoorMaster™, incluyendo la operación remota, control de la posición activa de los vasos, el autodiagnóstico y la capacidad de operar de -25 a + 50 ° C Rango de temperatura.

4.21.- 2014 Puerto de Helsinki, Finlandia

El puerto de Helsinki adjudicó una licitación a la empresa Cavotec para la instalación en el muelle de Länsisatama de seis unidades MoorMaster™400A15, estos equipos deberán estar en funcionamiento a finales del 2015.

La implementación de este sistema en el puerto de Helsinki es uno de los proyectos desarrollados con el apoyo del programa de infraestructuras de transporte de la RTE-T de la UE.

La capacidad de retención de cada uno de estos equipos es de 40 tons por equipo y serán utilizados por transbordadores de pasaje de 186 metros de eslora, la frecuencia de uso será de unas seis veces al día. Los transbordadores realizarán la ruta entre Helsinki y Tallin.

Las unidades de amarre automático de este modelo se operan desde el puente del buque mediante un control de radio. En este puerto el único desafío con el que se encuentran son las bajas temperaturas de -25°C común en los países bálticos durante el invierno.

4.22.- 2014 US Navy, USA

En 2006 Cavotec fue contactado por la Marina de Estados Unidos a través de la Oficina de Investigación Naval para investigar y desarrollar un sistema de amarre de buque a buque para ser instalado en distintos tipos de buques y para hacer distintas combinaciones de amarres y buques. Esta investigación y su desarrollo generó un pedido en 2014 de unidades 6x MoorMaster™200E60 con una capacidad de retención por unidad de 20 toneladas, con rutas marítimas establecidas para Q3 2015.

Si bien los ensayos iniciales se verán en un catamarán rápido amarrado a una barcaza con un estado de la mar de 3 el sistema ha sido diseñado para soportar buques mayores en peores condiciones meteorológicas de mar adversas.

Para la realización de ese estudio se han desarrollaron nuevas tecnologías:

- Vacío variable para adaptarse a diferentes construcciones del casco.

- Montaje dentro de un contenedor ISO para su fácil transporte.
- Almohadillas articulados para permitir el apego a superficies del casco con curvas.
- Digitalización en 3D.
- Seguimiento para permitir la fijación de una embarcación que sigue experimentando un movimiento significativo.

Ilustración 82. Modelo MM200E60.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

4.23. - 2014 Lavik & Oppedal / Norled, Noruega

Cavotec fue designada para la fabricación e instalación de su sistema de amarre MoorMaster™200E15 automatizado totalmente integrado para una línea de ferry que opera con energías renovables en Norled en el Oeste de Noruega, el servicio es el primero en el mundo que funcionan con transbordadores que son completamente de batería. El sistema de amarre tiene un sistema eléctrico que permite la recarga de las baterías del transbordador durante su estancia en el muelle, las baterías del buque se conectan al sistema de amarre mediante un conector que han llamado AMP. El cargador de batería quedará conectado del buque al sistema de amarre de Cavotec durante la estancia del buque atracado. (Murray et al. ,2009).

Los sistemas serán instalados en los muelles de ferry de pasajeros Lavik y Oppedal, y serán utilizados por el ferry-catamarán, a cargo del operador de ferry noruego Norled. El buque que lo utilizará tiene una eslora de 86 metros y una capacidad de 120 coches y 360 pasajeros, y la frecuencia de uso será de 17 atraques diarios. Está previsto que entre en servicio en 2015.

Las unidades MoorMaster™200E15 serán controlados por el capitán del barco desde el puente del buque con control remoto de Cavotec mediante radio control, y cuando el buque este amarrado de forma segura un sensor láser guiará al conector AMP a una escotilla en el casco del barco, para conectarse a la batería del barco y empezar a recargar.

Ilustración 83. Buque catamarán con nueva tecnología de baterías.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Mediante el uso de sistema de MoorMaster™ la hélice del barco se puede desconectar durante nueve minutos, durante cada proceso de embarque de 10 minutos, dando tiempo más que suficiente para conectarse al sistema Cavotec AMP y cargar las baterías. Con alrededor de 6.000 escalas al año, el ahorro y mejora de la calidad del aire y del combustible en comparación con el uso de sistemas de amarre eléctricos y convencionales es considerable.

- 1x MM200E15 de 20 toneladas de capacidad de retención cada una en cada puerto
- 16 atraques diarios con buques de baterías de 86 metros de eslora

4.24.- Recapitulación

Como ya se ha comprobado el sistema puede ser utilizado por distintos tipos de buques, y en distintos tipos de muelles o pantalanes.

Dependiendo de las condiciones en las que se va a utilizar el sistema de amarre se instala uno u otro modelo.

Como se puede apreciar estudiando la evolución de la presencia en los distintos puertos de los distintos modelos del sistema de amarre automático no está directamente

relacionado con el número de robots a instalar, ni con el tipo de buque, ni con la regularidad de uso, ni con el tamaño del buque, ni con las condiciones meteorológicas del puerto, cada instalación es diferente y requiere un estudio individual. Por este motivo se ve la necesidad del presente estudio en el puerto de Santander, para seleccionar las necesidades del emplazamiento donde se quiere hacer la instalación del sistema de amarre automático mediante ventosas de vacío.

Tabla 6: Relación de los puertos en los que está funcionando.

Nº	PUERTO	AÑO	MUELLE	ESLORA	FRECUENCIA
1.	Puerto de Picton, primer sistema, Nueva Zelanda.	1998	Buque - Muelle	150	3 día
2.	Puerto de Picton, modelo prototipo Moormaster 400, Nueva Zelanda.	2003	Pasaje	150	3 día
3.	Puerto de Melbourne & Davenport, Australia.	2003	Pasaje	150	1 día
4.	Puerto de Picton, Nueva Zelanda.	2005	Pasaje	181	3 día
5.	Dover, UK.	2005	Ro-Ro-pax	185	varios día
6.	Muelle nº 6 de Salalah, Oman	2006	Carga general	350	3 ó 4 semana
7.	Muelle St. Lawrence Seaway, Grandes Lagos, Canada.	2007	Todos	225	5 a 15 día
8.	Muelle nº 1 de Salalah, Oman.	2009	Containers	362	3 ó 4 semana
9.	Puertos de Hov y Sælving, Dinamarca.	2009	Ro-Ro-pax	91	varios día
10.	Puerto de Utah Point, Port Hedland, Australia.	2012	Bulkcarriers	295	3 ó 4 semana
11.	Puertos de Spodsbjerg y Tårs, Dinamarca	2012	Pasaje	99	36 día
12.	Puerto de Wellington, Nueva Zelanda.	2012	Pasaje	150	3 día
13.	Pantalán de graneles líquidos, fuel, Parker Point, Dampier, Australia.	2011	Graneles líquidos	250	1 semana
14.	Muelle nº 7, Geraldton, Australia.	2012	Carga general	294	3 ó 4 semana
15.	Beirut, Libano.	2012	Containers	294	2 día
16.	LKAB Narvik, Noruega.	2013	Graneleros	305	3 ó 4 semana
17.	Puerto de Ngura, Sudáfrica.	2013	Containers	366	2 día
18.	Jan de Nul, Brisbane, Australia.	2013	Draga	183	2 día
19.	Housælvig / Samsø Municipality, Dinamarca	2013	Pasaje	99	7 día
20.	Den Helder/ Teso, Holanda	2013	Pasaje	100	varios día
21.	Puerto de Helsinki, Finlandia	2014	Pasaje	100	6 día
22.	US Navy, USA	2014	Buque - Buque		
23.	Lavik & Oppedal / Norled, Noruega	2014	Pasaje	86	16 día

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de <http://www.cavotec.com/>

PARTE III:
SELECCIONES EN EL ESCENARIO
REAL. EL PUERTO DE SANTANDER

CAPÍTULO 5.- SELECCIÓN DE UN MUELLE DEL PUERTO DE SANTANDER

En este capítulo se describen los muelles del puerto de Santander seleccionados para la realización de este estudio, se hace desde el punto de vista constructivo y se calculan las cargas de atraque, amarre y la influencia del viento predominante en ambos muelles con el buque de mayor tamaño que atraca o atracará en ellos.

5.1.- Descripción del muelle de Raos 8 de Santander desde el punto de vista constructivo

Los datos relacionados con las características constructivas del muelle de Raos 8 han sido aportados por los ingenieros de caminos del Puerto de Santander:

El muelle de Raos 8 es un MUELLE DE CAJONES.

La sección tipo es la de un cajón prefabricado de hormigón con celdas circulares con relleno granular. Dicho cajón tipo presenta las siguientes características:

- Manga: 14,66 m (12,66 m de ancho en el fuste y zapatas de 1 m)
- Eslora: 42,496 m
- Puntal: 17 m
- Espesor de la pared exterior paramento lado mar: 0,5 m
- Espesor de la pared exterior paramento lado tierra: 0,2 m
- Espesor pared lateral: 0,2 m
- Espesor paredes interiores: 0,2 m
- Espesor de la solera: 0,5 m

El extremo Este del muelle N° 8 está formado por 8 cajones de este tipo coronando a la cota +4,00 m.

Todos los cajones irán cimentados a la cota -13 m (puntal: 17 m) sobre banquetas de escollera de espesor variable de 2 y 3 m. Sobre los cajones se dispone una viga cantil de hormigón armado, que sobresale 0,60 m del paramento vertical del cajón, y en el otro lado

la viga trasera. De este modo el muelle coronará a la cota +6,5 m, al igual que el muelle existente.

Se comienza describiendo el sistema de construcción de abajo hacia arriba.

En primer lugar, sobre el terreno hay con una banqueta de escollera de 100 a 200 kg, enrasada con grava para dar apoyo horizontal al cajón de hormigón.

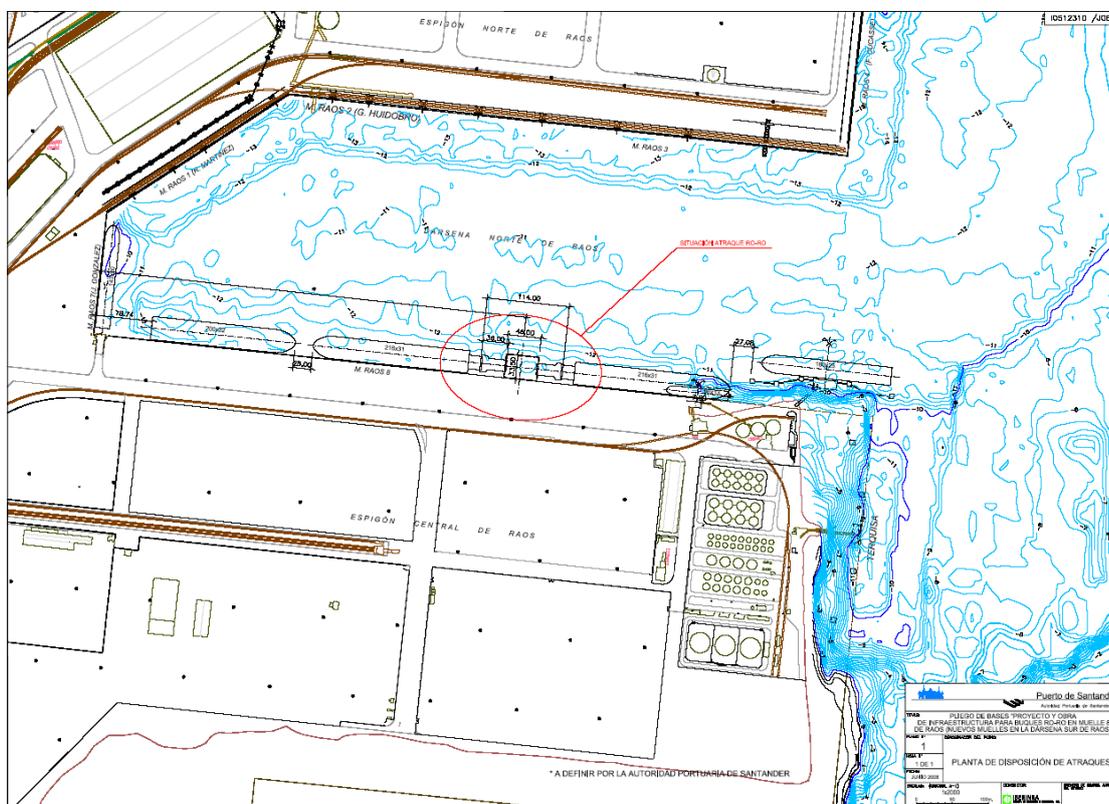
Sobre la banqueta apoya el cajón de hormigón, con celdas interiores que se rellenan de material granular una vez colocado el cajón en su posición final.

En la zona superior del cajón, a la parte de mar, se puede ver una viga cantil que soportará la defensa, el raíl de la grúa y el noray. La defensa debe ser capaz de amortiguar la presión que ejerce el buque contra el muelle.

Sobre el cajón, e su parte central, se ve que hay relleno seleccionado y compacto que soportará el pavimento y la canaleta de servicios.

En la zona superior del cajón, en el lado de tierra, se observa la viga trasera de hormigón donde se alojaría el otro raíl de la grúa.

Ilustración 84. Muelle de Raos 8 (Santander).



Fuente: <http://www.puertasantander.es>

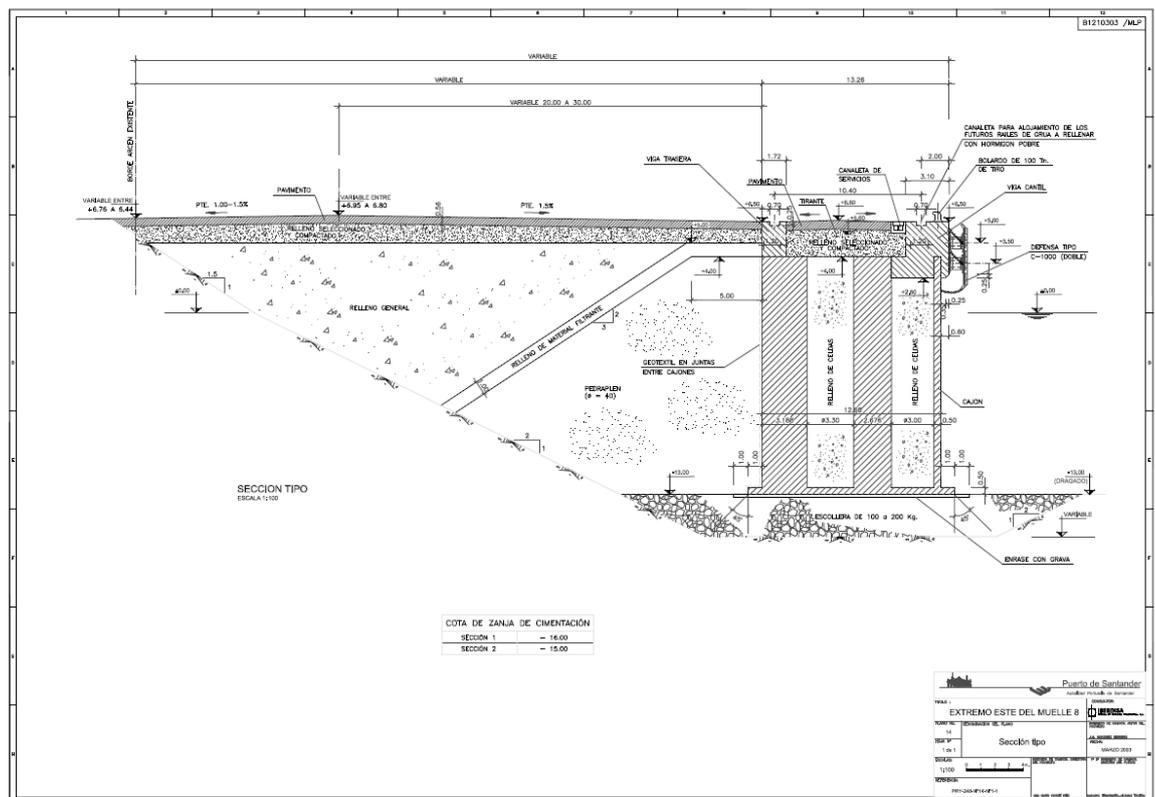
El trasdós del cajón se rellena con material granular de calidad (pedraplén de 40 de diámetro), relleno filtrante a 45° de ángulo que comienza a 4 m del final del cajón y con 1 m de grosor, y a continuación un relleno general. Sobre todo esto está una capa de relleno compacto seleccionado y el pavimento.

A lo largo del muelle se colocan bolardos de 100 toneladas de tiro nominal como se verá a continuación en los cálculos realizados, defensas ancladas en el cantil con escudo y, además, un total de 3 escalas de acceso al muelle para embarcaciones pequeñas.

El trasdós del cajón se rellena con material granular de calidad (pedraplén de 40 de diámetro), relleno filtrante a 45° de ángulo que comienza a 4 m del final del cajón y con 1 m de grosor, y a continuación un relleno general. Sobre todo esto está una capa de relleno compacto seleccionado y el pavimento.

A lo largo del muelle se colocan bolardos de 100 toneladas de tiro nominal como se verá a continuación en los cálculos realizados, defensas ancladas en el cantil con escudo y, además, un total de 3 escalas de acceso al muelle para embarcaciones pequeñas.

Ilustración 85. Sección Tipo, muelle raos 8.

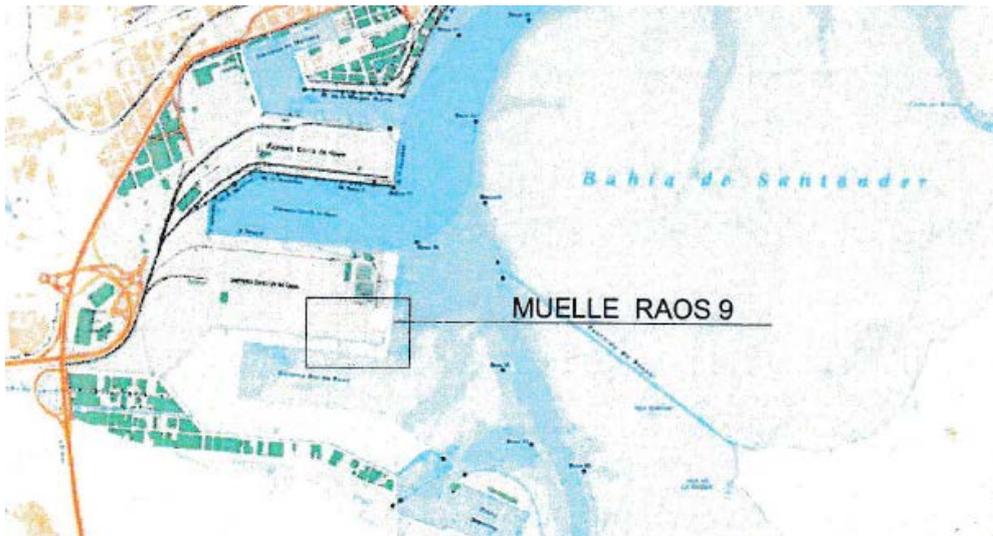


Fuente: <http://www.puertasantander.es>

5.2.- Descripción del muelle de Raos 9 de Santander desde el punto de vista constructivo

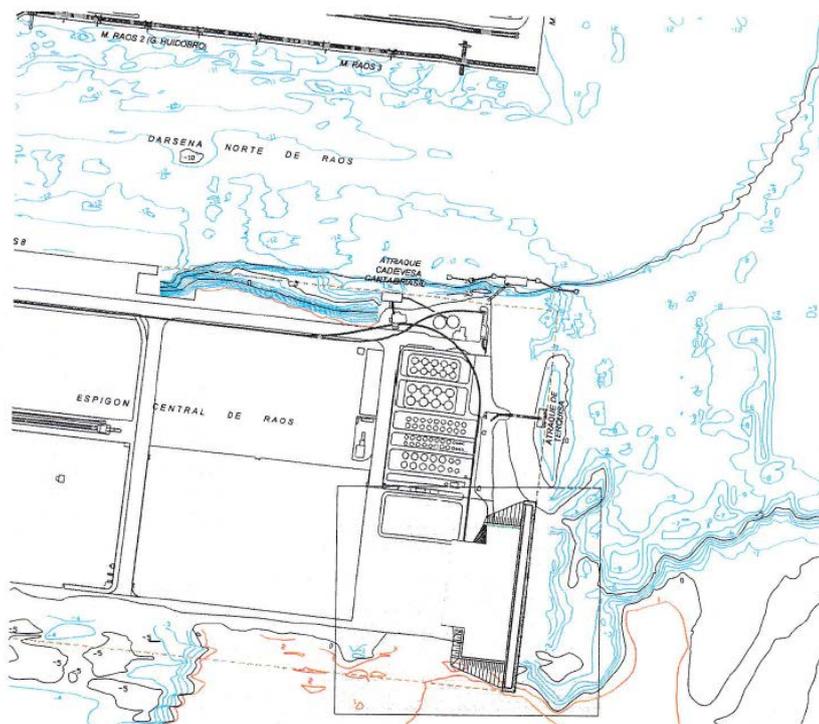
Tras el crecimiento experimentado por el puerto de Santander en los últimos años, se ha visto obligado a buscar opciones para su ampliación, por eso se estudia la construcción de un nuevo muelle multiuso en el Espigón Central de Raos. (Rico and Castellano, 1996; Rinne and Costa, 1967; Rosa-Santos et al., 2014)

Ilustración 86. Vista de la Zona de actuación. Muelle de Raos 9. Puerto de Santander.



Fuente: Proyecto construcción Raos 9, facilitada por la Autoridad portuaria de Santander.

Ilustración 87. Vista de Ubicación del Muelle de Raos 9. Puerto de Santander.



Fuente: Proyecto construcción Raos 9, facilitada por la Autoridad portuaria de Santander.

La ampliación consistirá en la construcción de un nuevo frente de atraque en el Muelle de Raos 9, que permitirá acoger buques graneleros, de carga general, buques RoRo y portacontenedores de hasta 60.000 TPM.

El proyecto del muelle de Raos 9 todavía está en fase de aprobación, debido a problemas medioambientales con la gestión de la tierra obtenida del dragado.

Para la realización del proyecto definitivo se formularon varias posibilidades constructivas de muelle, al final se optó por un muelle de 291 metros de longitud constituido por diez cajones de hormigón armado, cimentados sobre una banquetta de todo uno apoyada sobre el terreno previamente tratado con columnas de grava. Adicionalmente, en la parte de la alineación con “LBC Tank Terminal” con el fin de reducir la afección a “LBC”, se extiende el tratamiento de columnas al fango para obtener un talud de dragado de 2H: 1V.

Los requisitos del proyecto son los siguientes:

Geometría del muelle:

A) Longitud: en torno a los 290 metros.

B) Calado referido al cero del Puerto:

Cota de cimentación de estructura de gravedad: 14,50 metros.

Cota inicial de la fosa de atraque: 13,00 metros.

Se estudiará la posibilidad de que la cota futura de la fosa de atraque sea 16,00 metros.

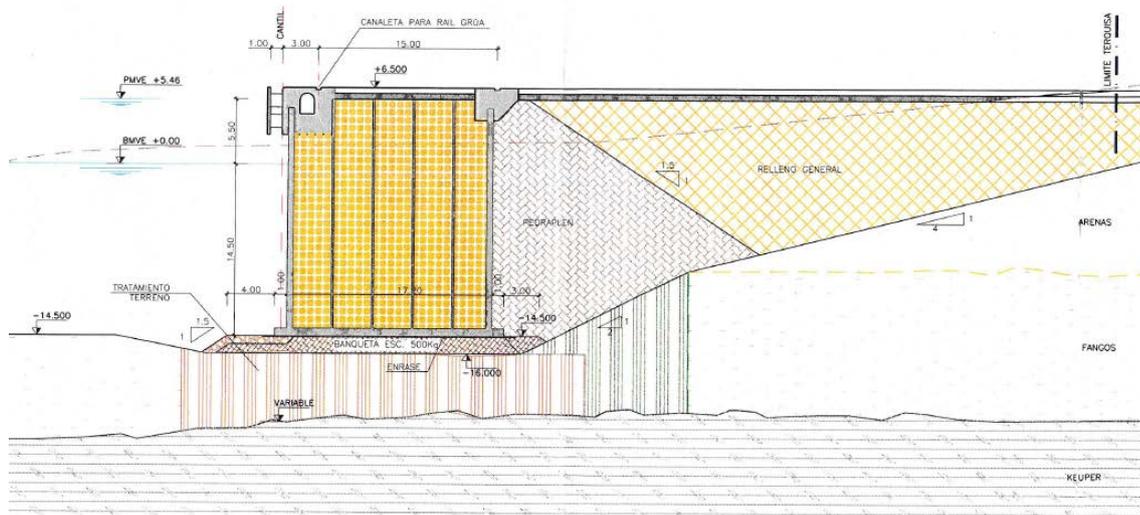
C) Cota de coronación de muelle y explanada: + 6,50 metros.

La afección a “LBC” se reduce, y para su protección es suficiente con disponer de una pantalla de tablestacas metálicas en voladizo, no siendo necesario entrar en las instalaciones de “LBC” para ejecutar los anclajes (como ocurre si no se trata el talud con columnas de grava). La protección consiste en una pantalla de tablestacas metálicas, cimentadas a la cota -11,50 metros en la zona de mayor afección, que pasan a ser tablestacas metálicas cimentadas a la cota -3,00 metros en la zona de menor afección.

Para la ejecución del muelle se construye una mota auxiliar sobre el terreno actual. Desde la mota se realiza el tratamiento del terreno (el procedimiento constructivo se puede variar, realizando primero el dragado y después las columnas, sin embargo esto obligaría a realizar las columnas por medios marítimos lo que dificulta su ejecución y encarece la solución). El tratamiento, que se aplica en el estrato de fangos y parcialmente en el Keuper

para la cimentación y en el fango para el talud, consiste en columnas de grava de 1 metro de diámetro, separados 2,50 metros entre sí.

Ilustración 88. Sección tipo por zonas más exigente.



Fuente: Proyecto construcción Raos 9, facilitada por la Autoridad portuaria de Santander.

Tras el tratamiento, se draga la zanja a la cota -16,00 metros y se dispone la banqueta de cimentación coronada a la cota -14,50 metros, formada por material todo uno, con una altura de 1,50 metros y protegida en el lado con dos capas de escollera de 500 Kg.

Sobre la banqueta se coloca una capa de grava para regularizar la superficie y, sobre dicha capa, se fondean los cajones. En base a los cálculos de estabilidad realizados, las características principales de los cajones son las siguientes.

- Eslora total: 28,90 metros.
- Manga en fuste: 17,20 metros.
- Puntal máximo: 20,00 metros.
- Espesor solera: 0,65 metros.

Las celdas de los cajones se rellenan con material granular. Los cajones se trasdosan con un pedraplén con talud 3H: 2V y, tras éste, se utiliza un relleno general para la formación de la explanada.

La superestructura del cajón consiste en una viga cantil de hormigón armado coronada a la cota + 6,50 metros que dispone de una canaleta para alojar el carril delantero de la grúa y de una galería de servicio visitable. Sobre dicha viga se disponen los elementos necesarios para el atraque y amarre de buques. Sobre el cajón se dispone además de una viga trasera para alojar el carril trasero de la grúa.

Las principales características del canal de navegación, así como de las áreas destinadas a reviro y atraque son las siguientes:

Tabla 7. Características canal de navegación a Raos 9. Fuente: Proyecto Raos 9.

ZONA	ANCHURA MINIMA	CALADO BMVE
Aproximación y acceso a puerta /Paso por bocana	250 m	12,00 m
Canal de navegación desde bocana hasta LBC	150 - 400 m	11,50 m
Canal de navegación desde LBC a aproximación a Raos 9	"A DEFINIR"	11,50 m
Área para reviro		11,50 m
Fosa de atraque del muelle de Raos 9		13,00 - 14,50 m

Fuente: Proyecto construcción Raos 9, facilitada por la Autoridad portuaria de Santander.

5.3.- Sobrecargas de operaciones de Buques

Las sobrecargas según la ROM 0.2-90 del Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas, 1990, son aquellas cargas externas producidas por la actuación directa o indirecta de buques sobre estructuras o instalaciones portuarias, las que afectan son:

- Cargas de Atraque.
- Cargas de Amarre.

También se ha tenido en cuenta (Suárez Bores 1969; Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Laboratorio de Puertos, 1969; Goekdeniz and Deniz, 2006; Moyano et al., 2002; Natarajan and Ganapathy, 1997; Natarajan and Ganapathy, 1995; BOE, 2013; BOE, 2009)

Estas cargas producidas por la actuación directa o indirecta de los buques atracados en instalaciones o estructuras portuarias dependen de los siguientes factores y se calculan a partir de ellos:

- Dimensiones, características estructurales, y movimientos del buque.
- Características físicas de la instalación: emplazamiento, accesibilidad, protección.
- Factores operacionales: condiciones de aproximación a la instalación y métodos de operación y maniobra, frecuencia de llegadas...
- Naturaleza y características de la estructura resistente, incluyendo la existencia y contabilidad con diversos tipos de equipamientos como defensas, amarras, bolardos, boyas de amarre.
- Mareas, variaciones del nivel del mar, y posibilidad de modificaciones en el francobordo de los buques.

- Condiciones medioambientales: viento, oleaje, corrientes y hielo.

5.4 - Equipamiento del Sistema de atraque

En este apartado se realizan los cálculos realizados para dimensionar el equipamiento de Raos 8 y de la ampliación del Muelle de Raos 9, en el Puerto de Santander, es decir, los sistemas de amarre convencional (Norays) y de atraque (defensas).

Para el diseño de estos sistemas se ha tenido en cuenta las recomendaciones de:

- La ROM 2.0-11. “Recomendaciones para el proyecto y ejecución en obras de atraque y amarre”
- La ROM 3.1-99. “Proyecto de la configuración marítima de los puertos, canales de acceso y áreas de flotación”

El sistema de atraque de muelle se ha dimensionado en función tamaño y del tipo de barco que utilizará el muelle, suponiendo que el calado del proyecto definitivo es de 16,0 m, se estudia con el RoRo de mayor tamaño que utiliza y utilizará los muelles.

5.4.1.- Cálculo de cargas de atraque

Las cargas de atraque son las 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 concluye la maniobra de atraque. En el caso de realizar las maniobras de atraque con el sistema de amarre automático este tiempo se puede reducir de cuarenta minutos a cuarenta segundos y en las maniobras de salida de veinte minutos a veinte segundos.

Estas cargas de atraque transmitidas a la estructura resistente se dividen en:

- **Cargas de impacto**, normales a la superficie de atraque, que dependen de los siguientes parámetros:
 - Energía cinética desarrollada por el buque durante el atraque.
 - La excentricidad del atraque.
 - La geometría del buque.
 - La configuración geométrica del atraque.
 - Las relaciones entre la tensión y la deformación en el buque, en las estructuras resistentes y en el sistema de defensa.

La estructura de atraque, y el sistema de defensa están sometidas a las fuerzas de impacto, coincidentes con las reacciones correspondientes a la energía cinética cedida o transmitida a la estructura resistente o al sistema de atraque completo respectivamente. Las cargas de atraque en el muelle y buques seleccionados se calcularán en la página 126.

- **Cargas de rozamiento**, paralelas a la superficie de atraque.

Estas dos cargas se podrían reducir con la implantación del sistema de amarre automático, debido a la reducción del tiempo de maniobra y con la disminución de los movimientos del buque durante su estancia en el puerto del buque atracado.

Para la realización del cálculo se ha consultado la ROM 2.09 (Grupo de expertos de la Dirección General de Puertos y Costas, 1990; Puerto de Pasajes, 2014; APS, 2015)

Para el cálculo de los elementos de amarre y atraque (bolardos y defensas) del muelle de raos 8 y Raos 9 se ha considerado el buque RoRo “Texas” de 265 m de eslora, por ser el de mayor desplazamiento a plena carga.

Considerando el buque tipo definido anteriormente, su desplazamiento viene dado por la expresión:

$$\Delta = c \times L_{pp} \times M \times \text{Calado} \times \gamma_w \quad (9)$$

c = coeficiente de bloque = 0,95

L_{pp} = Eslora entre perpendiculares = 250 m.

γ_w = Densidad del agua del mar = 1,025 t/m³.

M = manga = 32,26 m.

D = Calado = 10 m.

$\Delta = 0,95 \times 250 \times 32,26 \times 10 \times 1,025 = 78.532,94$ tons.

$GT = 74.622$ tons.

Normalmente los buques de gran desplazamiento (>10,000t) se paran a unos 10 a 20 metros del atraque paralelos a éste, produciéndose la maniobra de atraque lentamente en dirección perpendicular a la línea de atraque con la ayuda de remolcadores.

Este método da lugar a velocidades de atraque del orden de 0,10 a 0,40 m/segundos para condiciones normales de operación.

En condiciones medioambientales de operatividad favorables, la velocidad de atraque se toma de 0,10 m/segundos.

La energía cinética desarrollada por el buque en el atraque puede tomarse igual (ROM 0.2-90, punto 3.4.2.3.5)

$$E = (1/2 g) \times C_m \times \Delta \times (V_b)^2 \quad (10)$$

g = aceleración gravedad = 9,8 m/s²

C_m = Coeficiente de masa hidrodinámica = 1+2 (C/M) = 1 + 2 (10/32,26) = 1,62

C = Calado del buque = 10 m.

M = Manga del buque = 32,26 m.

Sustituyendo: $C_m = 1,62$

Δ = desplazamiento a plena carga = 78.532,94 t

$V_b = 0,10$ m/s.

Sustituyendo en la fórmula 10:

$$E = (1/2 g) \times C_m \times \Delta \times V_b^2 = 0,051 \times 1,62 \times 78.532,94 \times 0,10^2$$

$$E = 64,88 \text{ t m}$$

La energía a absorber por el sistema de atraque se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$E_f = f \times E$$

$$f = C_e \times C_g \times C_c \times C_s$$

C_e : coeficiente de excentricidad, que valora el efecto relativo a que el impacto del buque sobre el sistema de atraque, no se produce sobre el centro de gravedad. Para buques mediante aproximación transversal:

$$C_e = \frac{k^2 + a^2 \cdot \cos^2 \gamma}{k^2 + a^2} \quad (11)$$

k : radio de giro del buque

$$k = (0,19 \times C_b + 0,11) \times L = (0,19 \times 0,84 + 0,11) \times 265 = 71,44$$

C_b : coeficiente de bloque del buque = 0,84

$a =$ distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque $0,25 L = 0,25 \times 265 = 66,25 \text{ m}$

$\gamma:$ ángulo entre la línea que une el punto de impacto y el centro de gravedad del buque y el vector velocidad $= 75^\circ$

Por tanto aplicando la fórmula nº 11 obtenemos

$$C_e = \frac{71,44^2 + 66,25^2 \cdot \cos^2 75}{71,44^2 + 66,25^2} = 0,57$$

$C_g =$ Coeficiente de configuración geométrica del buque, que cuantifica la incidencia de la curvatura del buque y del sistema de defensa en el punto de contacto. Considerando que el impacto se produce en la parte recta del barco.

$$C_g = 1,00$$

$C_c =$ Coeficiente de configuración del atraque, que depende del tipo de estructura, del sistema de defensa, del método de aproximación y del resguardo bajo quilla. Según la ROM 0.2-90- para estructura maciza (muelle de cajones) con aproximación transversal preponderante del buque obtenemos. $C_c = 0,80$

$C_s =$ Coeficiente de rigidez del sistema de atraque, considerando un sistema flexible de atraque. $C_s = 1,00$

$$E_f = f \times E$$

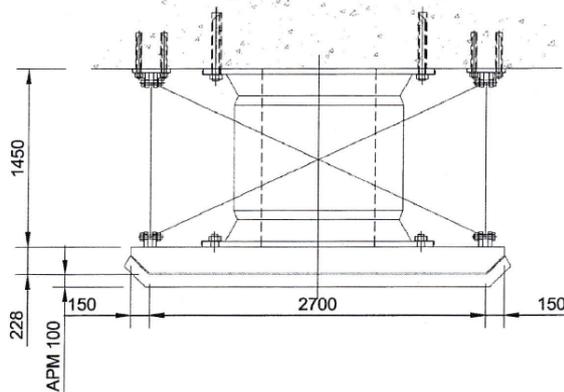
$$f = C_e \times C_g \times C_c \times C_s$$

$$f = 0,57 \times 1,00 \times 0,80 \times 1,00 = 0,456$$

Por tanto la defensa deberá absorber una energía:

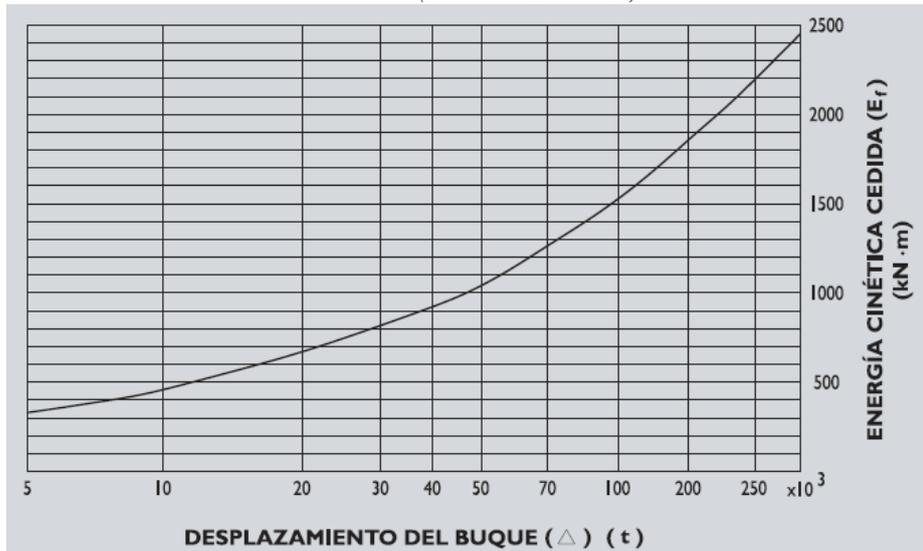
$$E = 0,456 \times 64,88 = 29,58 \text{ m} \times T$$

Ilustración 89. Detalle de defensa, alzado y sección.



Fuente: Proyecto construcción Raos 9, facilitada por la Autoridad portuaria de Santander.

Gráfico 3. Valor representativo de la energía cinética absorbida por el sistema de atraque durante la maniobra de atraque en condiciones normales operativas, en función del desplazamiento del buque, obtenida por métodos estadísticos (Puerto de Rotterdam).



Fuente: (Llorca et al. ,2012) ROM 2.0-II.

En condiciones extraordinarias el sistema de defensas deberá ser capaz de absorber una energía igual al doble de la calculada: 59,17 toneladas x m.

En Raos 8 la distancia entre las defensas ha de ser $\leq 0,15 L = 0,15 \times 265 = 39$ m. (y están colocadas cada 25 metros).

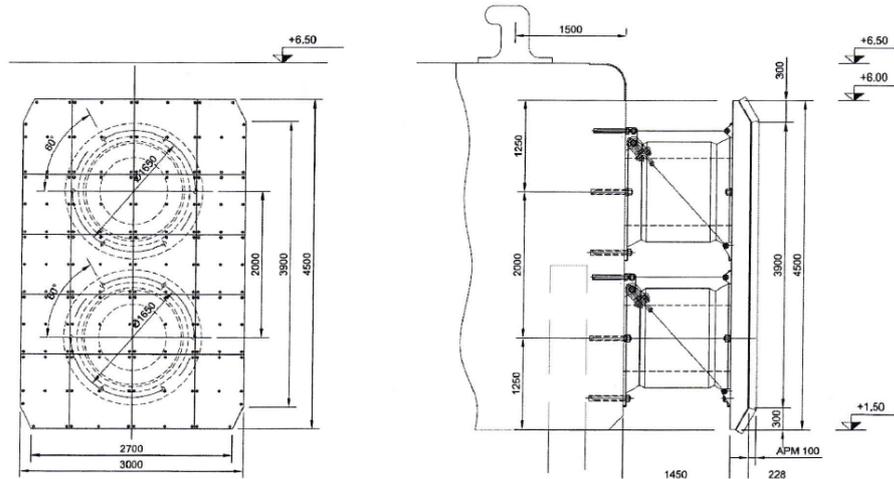
En el muelle de Raos 9, como aún no está construido se dispondrá una defensa cada 30 metros de muelle.

Ilustración 90. Muelle de Raos 8.



Fuente: <http://www.mpineiro.com/>

Ilustración 91. Detalle de defensa, alzado y sección.



Fuente: Proyecto construcción Raos 9, facilitada por la Autoridad portuaria de Santander.

Tabla 8. ROM 0.2-90, 4.2.3.5.5.

<p>TABLA 3.4.2.3.5.5. COEFICIENTE DE EXCENTRICIDAD PARA ATRAQUE DE BUQUES MEDIANTE APROXIMACIÓN LONGITUDINAL DIRECTA (RO-RO Y TRANSBORDADORES)</p>	
<p>– LÍNEA DE ATRAQUE LATERAL O DE GUÍA</p> <p>C_e se determinará según la formulación de la tabla 3.4.2.3.5.4, considerando como ángulo de aproximación mínimo $\alpha = 15^\circ$ (máximo 20°), excepto si la disposición geométrica del atraque obliga a uno menor; y como γ el ángulo entre la línea que une el punto de contacto y el centro de gravedad del buque, y la componente normal al atraque del vector velocidad. γ dependerá de la configuración geométrica del casco del buque en la zona de impacto. A falta de otros datos se podrá adoptar $\gamma = 70^\circ$.</p>	
<p>– LÍNEA DE ATRAQUE FRONTAL</p> <p>Se adoptará $C_e = 1,00$.</p>	
<p>NOTA:</p> <p>El coeficiente de excentricidad para atraque de buques mediante traslación longitudinal directa hacia un atraque frontal, previa situación de reposo en un atraque lateral o de guía, se tomará asimismo igual a 1,00.</p>	

Fuente: (Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas. ,1990)

Tabla 9.ROM 0.2-90, 4.2.3.5.4.

<p>TABLA 3.4.2.3.5.4. COEFICIENTE DE EXCENTRICIDAD PARA ATRAQUE DE BUQUES MEDIANTE APROXIMACIÓN TRANSVERSAL</p>	
<p>Punto de Impacto</p>	$C_e = \frac{k^2 + a^2 \cdot \cos^2 \gamma}{k^2 + a^2}$
<p>siendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - k: Radio de giro del buque, en m. Podrá aproximarse por la función $k = (0,19 \cdot C_b + 0,11) \cdot L$, para: <ul style="list-style-type: none"> - C_b = Coeficiente de bloque del buque. - $C_b = \frac{\text{Desplazamiento}}{\text{Eslora entre perp.} \times \text{Manga} \times \text{Calado} \times \gamma_w} = \frac{\Delta}{L_{pp} \cdot B \cdot D \cdot \gamma_w}$ Suele oscilar entre 0,3 y 0,9. - L = Eslora del buque, en m. Generalmente k tendrá valores entre $0,20 \cdot L$ y $0,25 \cdot L$. - a: Distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque, en m. Con suficiente aproximación podrá considerarse que el centro de gravedad de los buques coincide con el centro de eslora. El lugar en el que se produce el punto de impacto dependerá fundamentalmente del método de aproximación y de la condiciones locales en que se produzca. Para hacer el impacto del barco lo más suave posible, el buque deberá ser movido de forma que se hagan la distancia (a) y el ángulo (γ) lo más grande posible. Generalmente, el punto de contacto se produce en las proximidades de la popa o proa, dependiendo del ángulo de aproximación α (se alcanzan generalmente 5° a 15° para atraque sin remolcadores y 7° a 10° para atraque con remolcadores), y de la forma del casco del buque y de la defensa. A efectos de cálculo, «a» podrá aproximarse a los siguientes valores: <ul style="list-style-type: none"> - Para atraques sobre sistemas continuos de defensa: $a = 0,25 L$ - Para atraques sobre estructuras aisladas de defensa (p.e. Duques de Alba): Se supondrá que el buque atraca con una desalineación (x) de su centro de eslora con respecto al centro del atracadero en la dirección del punto de impacto de valor $0,10 \cdot L$, con un valor mínimo de 10 m y máximo de 15 m (medida paralelamente a la línea de atraque). - γ: Ángulo entre la línea que une el punto de contacto y el centro de gravedad del buque, y el vector velocidad. En condiciones normales podrá adoptarse: $\gamma = 70^\circ - 80^\circ$. <p>Generalmente, se obtendrán valores de C_e entre 0,55 y 0,60 para atraques con sistemas continuos de defensa y entre 0,70 y 0,80 para atraques sobre estructuras aisladas de defensa.</p>	

Fuente: (Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas. ,1990)

Los estándares de diseño establecen que la defensa puede ser un sistema sencillo o varios sistemas lo suficientemente juntos como para que todos se muevan durante el impacto de

ataque. El radio de proa del barco, el ángulo de abanico de proa y el ángulo de atraque determinarán la selección de las defensas y la distancia entre defensas.

Se asume a menudo que los barcos tienen un radio de curvatura del casco constante desde la proa hasta el cuerpo lateral paralelo. Los barcos aerodinámicos que están diseñados para altas velocidades (es decir, barcos crucero, contenedores y algunos RoRo) tendrán una curvatura de proa que se extiende hacia la parte anterior del casco. Un barco diseñado para llevar la carga máxima como los buques para gráneles sólidos o líquidos tendrá una curvatura de proa más corta.

El grado de curvatura de la proa a veces se estima teniendo en cuenta el coeficiente de bloque del barco:

$$C_B < 0,6; \frac{x}{Loa} \approx 0,3$$

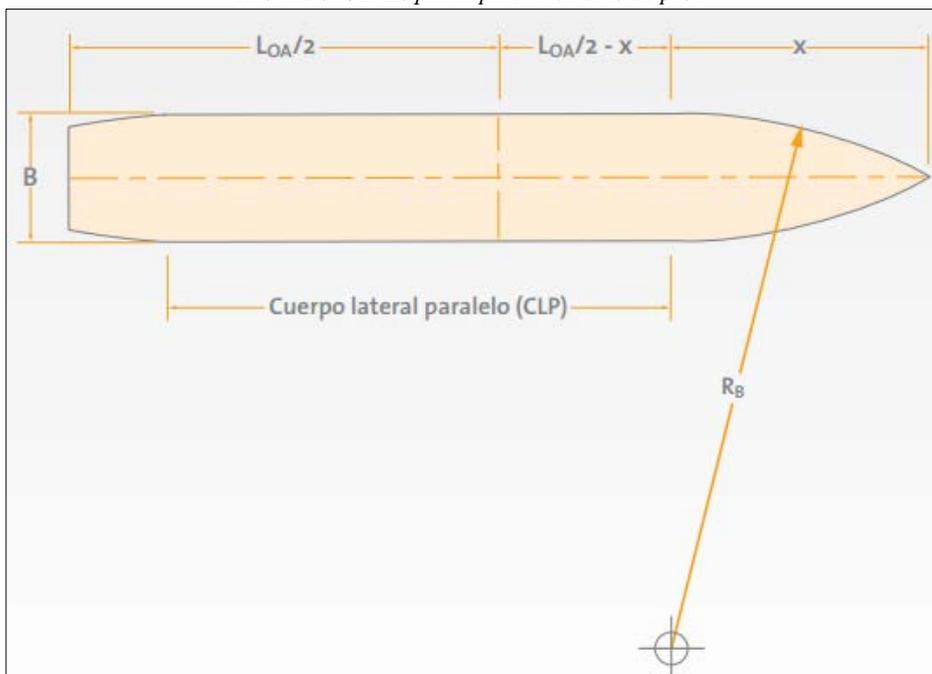
$$0,6 \leq C_B < 0,8; \frac{x}{Loa} \approx 0,25$$

$$C_B \geq 0,8; \frac{x}{Loa} \approx 0,2$$

El radio de proa se puede calcular como: $R_B = \frac{x^2}{B} + \frac{B}{4}$ (12)

Como hemos calculado antes el coeficiente de bloque del buque con el que estamos trabajando es $C_B = 0,84$ por lo tanto es mayor de 0,8 y sustituyendo en la ecuación nos queda que $x = 53$. Por lo tanto $R_B = 95,78$ metros.

Ilustración 92. Esquema para el cálculo de proa.



Fuente: (FenderTeam AG, 2015)

5.4.2.- Cálculo de cargas de amarre

Las cargas de amarre es la resultante de la presión que soporta el buque teniendo en cuenta los factores externos que le afectan. Viene representada por la fórmula:

$$R_v = \frac{c_v V_v^2}{16.000} (A_T \cos^2 \alpha + A_L \sen^2 \alpha) \quad (13)$$

La velocidad del viento que se ha considerado para la realización del proyecto es la siguiente:

$$V = 90 \text{ km/h} \approx 25 \text{ m/seg} \approx 48,6 \text{ nudos:}$$

A_T = Área de la proyección transversal del buque expuesta a la acción del viento en m²:

$$A_T = M. (G + h_T) \quad (14)$$

$$B = \text{manga} = 32,26 \text{ m}$$

$$G = \text{francobordo para el buque en lastre} = 33,22 - 6 = 27,22 \text{ m}$$

$$\text{Puntal} = 33,22 \text{ m}$$

La peor situación se produce con el barco en lastre, pues es cuando mayor superficie expuesta tiene.

Calado en lastre: Suponiendo que se mantiene el coeficiente de bloque y el desplazamiento en lastre toma un valor entre 30-50% del desplazamiento a plena carga (según ROM 0.2-90, artículo 3.4.2.3.5):

Considerando $\Delta_{\text{lastre}} = 0,50 \times \Delta_{\text{carga}}$:

$$\Delta_{\text{lastre}} = 0,50 \times 78.532,94 = 0,80 \times 250 \times 32,26 \times 1,025 \times C$$

$$C = \text{calado en lastre} = 6,00 \text{ m.}$$

$$G = 33,22 - 6,00 = 27,22 \text{ m.}$$

$$h_T = 18,00 \text{ (altura de la proyección de la superestructura del buque en plano transversal)}$$

$$A_T = 32,26 \times (27,22 + 18,00) = 1.458,79 \text{ m}^2$$

A_L = Área de la proyección longitudinal del buque expuesta a la acción del viento en m².

$$A_L = L_{pp} (G + h_L)$$

$$L_{pp} = 250 \text{ m}$$

$h_L = 8,5$ m (altura de la proyección de la superestructura del buque en un plano longitudinal, TABLA 4.2.3.5.9 de la ROM 0.2-90).

$$A_L = 250 \times (27,22 + 8,50) = 8.930 \text{ m}^2$$

Tabla 10. ROM 0.2-90, 4.2.3.5.

Tipo de buque	Tonelaje	Alturas medias (m)		Tipo de buque	Tonelaje	Alturas medias (m)	
		h_T	h_L			h_T	h_L
PORTAGRANELES Y POLVALENES	TPM			TRANSPORTADORES DE GASES LICUADOS	TPM		
	300.000	25,00	5,00		60.00	14,50	4,00
	250.000	23,00	5,00		47.000	13,80	4,00
	200.000	21,00	5,00		40.000	13,00	4,00
	150.000	19,00	5,00		18.000	10,00	4,00
	100.000	16,50	5,00		16.000	9,50	4,00
	90.000	16,00	5,00		5.000	7,50	6,20
	70.000	14,50	5,00		3.000	7,00	5,00
	50.000	13,00	5,00				
	40.000	12,00	5,00				
	30.000	11,00	5,00				
	20.000	10,00	5,00				
	15.000	9,50	5,00				
	10.000	9,00	5,00				
	PETROLEROS	TPM				MERCANTES DE CARGA GENERAL	TPM
500.000		32,00	4,00	50.000	18,00		5,00
400.000		29,00	3,80	40.000	17,00		5,00
300.000		25,00	3,70	30.000	16,00		5,00
250.000		23,00	3,60	20.000	14,00		5,00
200.000		21,00	3,40	15.000	13,00		5,00
150.000		19,00	3,20	10.000	11,50		5,00
120.000		17,50	3,10	9.000	11,00		5,00
100.000		16,50	3,00	8.000	10,50		5,00
80.000		15,00	2,90	7.000	9,50		5,00
70.000		14,50	2,80	6.000	9,00		5,00
60.000		14,00	2,70	5.000	8,50		5,00
50.000		13,00	2,60	4.000	8,00		5,00
40.000		12,00	2,40	3.000	7,50		5,00
30.000		11,00	2,20	2.000	7,00		5,00
20.000	10,00	2,00	1.000	6,50	5,00		
15.000	9,50	2,00	700	6,00	5,00		
10.000	9,00	2,00					
5.000	8,50	2,00					
3.000	8,00	2,00					
2.000	7,50	2,00					
1.000	7,00	2,00					
700	7,00	2,00					
METANEROS	TPM			PORTACONTENEDORES Y RO - RO	TPM		
	75.000	19,00	10,00		50.000	18,00	8,50
	50.000	13,80	8,00		42.000	17,00	8,50
	20.000	12,00	6,00		36.000	16,00	8,50
	4.000	9,00	6,00		30.000	13,50	8,50
					25.000	12,00	8,50
					20.000	10,50	8,00
					15.000	9,00	7,50
					10.000	8,00	7,50
					7.000	7,50	7,50

Fuente: (Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas, 1990)

Cuando el viento tiene dirección normal a la proyección longitudinal del buque,

$\alpha = 90^\circ$, la fuerza sobre el mismo vale:

$$R_v = \frac{1,3 \cdot 25 \cdot 25}{16.000} (1.458,79 \cos^2 90 + 8.930 \sin^2 90) = 453,47 \text{ T}$$

$\Phi = 90^\circ$, luego:

Fuerza transversal: $F_{TV} = R_v \sin \phi = 453,47 \sin 90 = 453,47 \text{ T}$

Fuerza longitudinal: $F_{LV} = R_v \cos \phi = 453,47 \cos 90 = 0 \text{ T}$

Momento: $M_{TV} = 453,47 \times 0,02 \times 265 = 2.403 \text{ m} \times \text{T}$

Para viento soplando en dirección longitudinal al buque: $\alpha = 0^\circ$

$$R_v = \frac{1,3 \cdot 25 \cdot 25}{16.000} (1.458,79 \cos^2 0 + 8.930 \sin^2 0) = 74,08 \text{ T}$$

Tang $\Phi = 0^\circ$, luego:

Fuerza transversal: $F_{TV} = R_v \sin \phi = 74,08 \sin 0 = 0 \text{ T}$

Fuerza longitudinal: $F_{LV} = R_v \cos \phi = 74,08 \cos 0 = 74,08 \text{ T}$

Momento: $M_{TV} = 0 \times 0,02 \times 250 = 0 \text{ m} \times \text{T}$

Los esfuerzos resultantes en las direcciones principales resultan:

En sentido perpendicular al buque:

$$F_T = (F_{TV} + M_{TV}/L) = (453,47 + 2.403/265) = 462,54 \text{ T}$$

Suponiendo que el tiro transversal es resistido por 2 traveses y 3 largos a 30° :

$$2T_1 + 3T_1 \cos 30^\circ = 417,22 \quad T_1 = 91,096 \text{ toneladas.}$$

Con objeto de tener en consideración los efectos dinámicos se considerará que la carga de amarre actualmente es igual a 1,5 veces la teórica calculada.

$$T_{\text{total}} = 1,50 \times T_1 = 136,64 \text{ toneladas.}$$

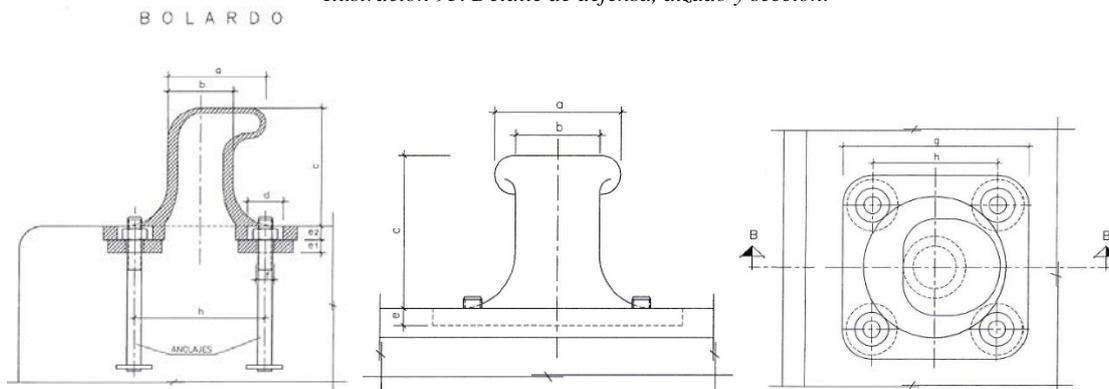
En sentido longitudinal:

$$F_{LV} = 74,08 \text{ toneladas.}$$

Suponiendo que el tiro longitudinal se resiste con 1 spring la capacidad de los bolardos es:

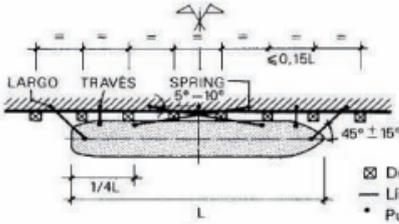
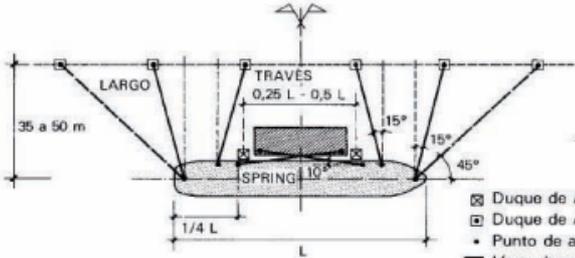
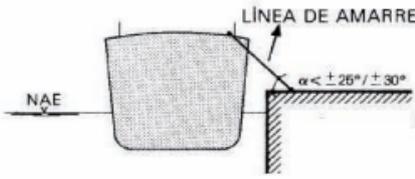
$$T = (F_{LV}) \times 1,50 = 74,08 \times 1,50 = 111,12 \text{ toneladas.}$$

Ilustración 93. Detalle de defensa, alzado y sección.



Fuente: Proyecto construcción Raos 9, facilitada por la Autoridad portuaria de Santander

Tabla 11. Rom 0.2-90, TABLA 4.2.3.5.14.

TABLA 3.4.2.3.5.14. DISTRIBUCIONES ÓPTIMAS DE DEFENSAS Y LÍNEAS DE AMARRE	
DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	
<p>1. OBRA DE ATRAQUE CONTINUA</p>  <p> Defensa. Línea de amarre. Punto de amarre. Los traveses pueden ser omitidos y/o sustituidos por largos. </p>	
<p>2. OBRA DE ATRAQUE DISCONTINUA</p>  <p> Duque de Alba de atraque. Duque de Alba de amarre. Punto de amarre. Línea de amarre. Los largos pueden también proyectarse alternativamente con una inclinación de 45°. </p>	
DISTRIBUCIÓN EN ALZADO	
 <p> $\alpha < \pm 25^\circ / \pm 30^\circ$ $\alpha =$ Ángulo vertical máximo en la peor condición de carga y marea. </p>	

Fuente: (Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas. ,1990)

En Raos 8 hay bolardos de 100 toneladas de tiro nominal, lo cual está de acuerdo con la Tabla 12 en la que se establece que la carga horizontal mínima de amarre para buques de desplazamiento entre 50.000 y 100.000 toneladas es de 100 toneladas

En Raos 9 también se instalarán bolardos de 100 toneladas de tiro nominal.

Tabla 12. Rom 0.2-90, TABLA 4.2.3.5.15.

TABLA 3.4.2.3.5.15. CARGAS HORIZONTALES MÍNIMAS DE AMARRE PARA BUQUES DE DESPLAZAMIENTO SUPERIOR A 20.000 t	
DESPLAZAMIENTO (en t)	CARGAS DE AMARRE (en t)
20.000 ~ 50.000	80
50.000 ~ 100.000	100
100.000 ~ 200.000	150
> 200.000	200

NOTAS:

- Los valores señalados en la tabla serán aplicables para puntos de amarre formados por bolardos simples o múltiples, bitas, ganchos de escape rápido, roldanas, etc...
- Para localizaciones expuestas a la acción de fuertes vientos o corrientes se incrementarán los valores fijados en la tabla en un 25%. (condiciones muy desfavorables de la tabla 3.4.2.3.5.2.)
- Los puntos de amarre principales situados en los extremos de atraques aislados serán proyectados con cargas de amarre de:
250 t para buques hasta 100.000 t
300 t para buques de 100.000 t ~ 200.000 t
400 t para buques > 200.000 t
- La tracción podrá producirse hacia el agua en cualquier ángulo con la línea de atraque. No se considerarán tiros hacia tierra a menos que el punto de amarre sirva a un atraque en tal dirección o se conciba especialmente como punto de amarre de esquina.
- Se considerarán separaciones de puntos de amarre, asociados a las cargas señaladas, de 30 m.

Fuente: (Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas. ,1990)

5.5.- Efecto del viento sobre el buque

Según las recomendaciones de la ROM 0.4-95 (Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas. ,1995), (Miller ,1991) las velocidades límites de operatividad usuales en instalaciones y estructuras portuarias sin considerar diferencias direccionales son:

Para buques atracando:

Buques de esloras mayores de 25 metros como es el caso que nos afecta:

Sin ayuda de remolcadores: $V_{v,1 \text{ min}} (10 \text{ m}) = 20 \text{ m/s} (\approx 70 \text{ km/h})$ o (37,8 nudos)

Con ayuda de remolcadores pero sin modificar la configuración del buque:

$V_{v,1 \text{ min}} (10 \text{ m}) = 22 \text{ m/s} (\approx 80 \text{ km/h})$ o (43,2 nudos)

Con ayuda de remolcadores pero modificando la configuración del buque, lastrando:

$V_{v,1 \text{ min}} (10 \text{ m}) = 28 \text{ m/s} (\approx 100 \text{ km/h})$ o (54 nudos)

Buques con mercancías peligrosas: $V_{v,1 \text{ min}} (10 \text{ m}) = 14 \text{ m/s} (\approx 50 \text{ km/h})$ o (27 nudos)

Para buques amarrados:

Buques de eslora mayor de 25 metros:

Durante operaciones de carga y descarga; $V_{v, 1 \text{ min}} (10 \text{ m}) = 17 \text{ m/s} (\approx 60 \text{ km/h})$ o (32,4 nudos)

En estructuras de atraque:

Sin ayuda de remolcadores: $V_{v, 1 \text{ min}} (10 \text{ m}) = 20 \text{ m/s} (\approx 70 \text{ km/h})$ o (37,8 nudos)

Con ayuda de remolcadores pero sin modificar la configuración del buque:

$V_{v, 1 \text{ min}} (10 \text{ m}) = 22 \text{ m/s} (\approx 80 \text{ km/h})$ o (43,2 nudos)

Con ayuda de remolcadores pero modificando la configuración del buque, lastrando:

$V_{v, 1 \text{ min}} (10 \text{ m}) = 28 \text{ m/s} (\approx 100 \text{ km/h})$ o (54 nudos)

A nosotros en este proyecto lo que nos interesa es el límite de operatividad cuando el buque este atracado, y este límite lo marca la ROM 0.4-95 es de 37,8 nudos.

5.5.1.- Cálculo de la resultante de la acción del viento sobre el buque atracado

Los buques que utilizan el muelle de raos 8 y los que utilizarán raos 9 son buques RORO de grandes dimensiones, y con gran superficie velica, por lo que el viento les afecta por que ofrecen una gran resistencia al mismo.

En el punto siguiente veremos cuáles son los vientos que más afectan al muelle del que se está tratando.

En este apartado se calculará la resultante de la acción del viento sobre el buque amarrado y lo hacemos mediante la siguiente expresión:

$$R_v = \frac{\rho}{2.g} \cdot C_v \cdot V_v^2 \cdot (A_T \cdot \text{Cos}^2\alpha + A_L \cdot \text{Sen}^2\alpha) \quad (15)$$

Donde:

ρ = peso específico del valor del aire = $1.225 \cdot 10^{-3} \text{ t/m}^3$

C_v = Factor de forma que varía entre 1 y 1,3. A falta de datos, la ROM 0.2-90 recomienda tomar 1,3.

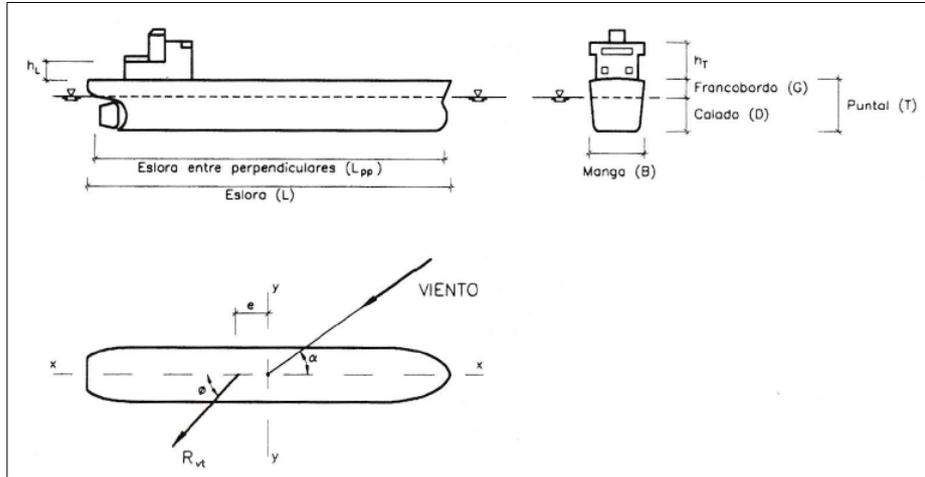
La magnitud de los coeficientes C_{vx} y C_{vy} para buques es muy variable en función de las características y forma del mismo por encima del nivel del agua, y de su estado de carga. Ara buques aislados, como primera aproximación podrán tomarse los valores medios:

$C_{vx} = 0,80$ para vientos de proa ($\alpha = 0^\circ$)

1,00 para viento de popa ($\alpha = 180^\circ$)

$C_{vy} = 1,25$ para viento transversal ($\alpha = 90^\circ$)

Tabla 13. Rom 0.4-95, 3.2.2.8.1.



Fuente: (Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas, 1995)

V_v = velocidad básica horizontal del viento de proyecto correspondiente a 10 m de altura, en m/s, supuesta constante para toda altura.

A_T = área de la proyección transversal del buque expuesta a la acción del viento, en m^2 .

A_L = área de la proyección longitudinal del buque expuesta a la acción del viento, en m^2 .

α = ángulo formado por el eje longitudinal del buque y la dirección de actuación del viento, en grados.

El punto de aplicación de la fuerza total de arrastre resultante de la acción del viento se situará en el eje longitudinal del buque, con una excentricidad respecto del centro de gravedad del mismo igual a: $e = K_e \cdot L$

Siendo L la eslora del buque y K_e el coeficiente de excentricidad (adimensional).

La determinación de los efectos del viento sobre el buque amarrado comienza por el cálculo de la velocidad básica del viento, que se lleva a cabo siguiendo la metodología descrita en la ROM 0.4-95. En primer lugar calcularemos el periodo de retorno a partir de la vida útil y el riesgo máximo admisible según la expresión:

$$E = I - \left(I - \frac{1}{T}\right)^n \quad (16)$$

Mediante la siguiente Tabla de la ROM 0.2-90 podemos calcular **n** que es la vida útil a partir del nivel de seguridad y carácter de la infraestructura.

Se trata de una infraestructura de carácter general, con un nivel de seguridad 2, por lo tanto la vida útil según la Tabla es de $n = 50$ años.

Por lo tanto el periodo de retorno es de:

$$T = \frac{-n}{\ln(1-E)} = 72,1 \text{ años}$$

Tabla 14. ROM 0.2-90. TABLA 2.1.1

TABLA 2.2.1.1. VIDAS ÚTILES MÍNIMAS PARA OBRAS O INSTALACIONES DE CARÁCTER DEFINITIVO (en años)			
TIPO DE OBRA O INSTALACION	NIVEL DE SEGURIDAD REQUERIDO		
	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL	25	50	100
DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO	15	25	50

LEYENDA:

INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL:
Obras de carácter general; no ligadas a la explotación de una instalación industrial o de un yacimiento concreto.

DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO:
Obras al servicio de una instalación industrial concreta o ligadas a la explotación de recursos o yacimientos de naturaleza transitoria (por ejemplo, puerto de servicio de una industria, cargadero de mineral afecto a un yacimiento concreto, plataforma de extracción de petróleo,...).

NIVEL 1:
Obras e instalaciones de interés local o auxiliares.
Pequeño riesgo de pérdidas de vidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura.
(Obras de defensa y regeneración de costas, obras en puertos menores deportivos, emisarios locales, pavimentos, instalaciones para manejo y manipulación de mercancías, edificaciones,...).

NIVEL 2:
Obras e instalaciones de interés general.
Riesgo moderado de pérdidas de vidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura.
(Obras en grandes puertos, emisarios de grandes ciudades, ...).

NIVEL 3:
Obras e instalaciones de protección contra inundaciones o de carácter supranacional. Riesgo elevado de pérdidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura.
(Defensa de núcleos urbanos o bienes industriales, ...).

Fuente: (Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas. ,1990)

Por otra parte mediante la Tabla 15, extraída también de la ROM 0.2-90 se determina el riesgo máximo admisible, en función de la posibilidad de pérdida de vidas humanas y repercusión económica en caso de fallo de la infraestructura. Se trata de una obra en un puerto.

Por otra parte, calculamos con la siguiente Tabla también obtenida de la ROM 0.2-90 el máximo riesgo admisible, en función de la posibilidad de pérdida de vidas humanas y repercusión económica en caso de fallo de la infraestructura. En caso de producirse un fallo en la infraestructura la posibilidad de pérdidas de vidas humanas es reducida y la repercusión económica en caso de inutilización de la obra se considera baja. Así el riesgo máximo admisible extraído de la Tabla siguiente es: $E = 0,5$.

Tabla 15. ROM 0.2-90. TABLA 2.3.1.2.

TABLA 3.2.3.1.2. RIESGOS MÁXIMOS ADMISIBLES PARA LA DETERMINACIÓN, A PARTIR DE DATOS ESTADÍSTICOS, DE VALORES CARACTERÍSTICOS DE CARGAS VARIABLES PARA FASE DE SERVICIO Y CONDICIONES EXTREMAS			
a) RIESGO DE INICIACIÓN DE AVERÍAS			
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA. Indice $r = \frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
	BAJA	0,50	0,30
	MEDIA	0,30	0,20
	ALTA	0,25	0,15
b) RIESGO DE DESTRUCCIÓN TOTAL			
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA. Indice $r = \frac{\text{Coste de pérdidas}}{\text{Inversión}}$		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
	BAJA	0,20	0,15
	MEDIA	0,15	0,10
	ALTA	0,10	0,05
<p>Se adoptará como riesgo máximo admisible el de iniciación de averías o el de destrucción total según las características de deformabilidad y de posibilidad o facilidad de reparación de la estructura resistente.</p> <p>Para obras rígidas o de rotura frágil sin posibilidad de reparación se adoptará el riesgo de destrucción total.</p> <p>Para obras flexibles, semirrígidas o de rotura en general reparable (daños menores que un nivel prefijado función del tipo estructural) se adoptará el riesgo de iniciación de averías.</p> <p>En este tipo de obras podrá adoptarse también el riesgo de destrucción total, definiendo para cada tipo estructural el nivel de daños aceptado como de destrucción total. La acción resultante se considerará como accidental.</p>			
LEYENDA:			
<ul style="list-style-type: none"> ■ POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS <ul style="list-style-type: none"> — Reducida: Cuando no es esperable que se produzcan pérdidas humanas en caso de rotura o daños — Esperable: Cuando es previsible que se produzcan pérdidas humanas en caso de rotura o daños. ■ REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA <p style="text-align: center;">Indice $r = \frac{\text{Coste de pérdidas directas e indirectas}}{\text{Inversión}}$</p> <ul style="list-style-type: none"> — BAJA: $r \leq 5$ — MEDIA: $5 < r \leq 20$ — ALTA: $r > 20$ 			

Fuente: (Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas, ,1990)

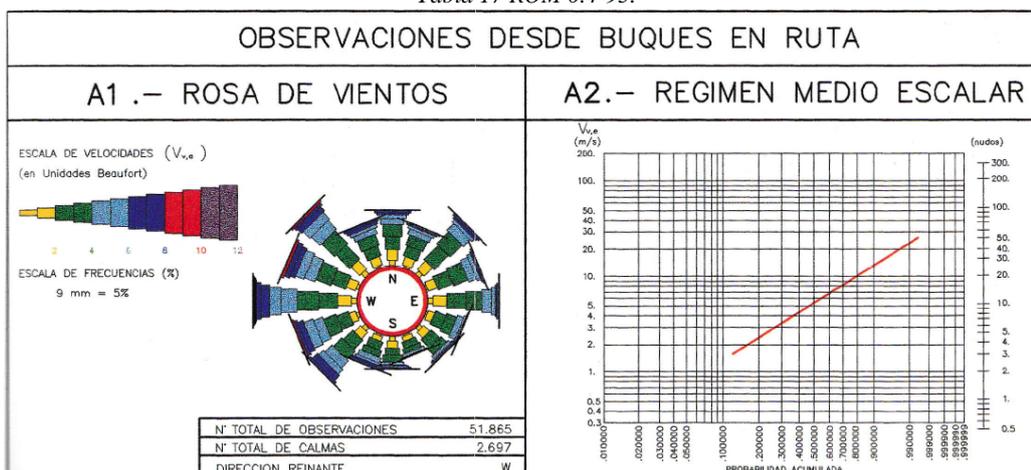
La ROM 0.4-95 incluye un Atlas de vientos del litoral Español, del que se extrae la siguiente figura, y en la que se establece en Cantabria una velocidad básica escalar de viento, asociada a un periodo de 50 años, de valor: $V_b = 34 \text{ m/s}$

Tabla 16. ROM 0.4-95.

INFORMACION ANALIZADA				
REGISTROS EN ESTACIONES COSTERAS				
ESTACION	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	PERIODO DE MEDIDA
1. SAN SEBASTIAN	1° - 57' W	43° - 19' N	25 m.	1975-1990
2. SONDICA (Aeropuerto)	2° - 55' W	43° - 18' N	34 m.	1961-1990
3. SANTANDER (Centro)	3° - 46' W	43° - 28' N	65 m.	1963-1990
4. GUJÓN	5° - 38' W	43° - 32' N	10 m.	1961-1990
OBSERVACIONES DESDE BUQUES EN RUTA				
CUADRICULA		PERIODO DE MEDIDA		
43.0° N - 45.0° N 1.5° W - 7.0° W		1900 - 1978		

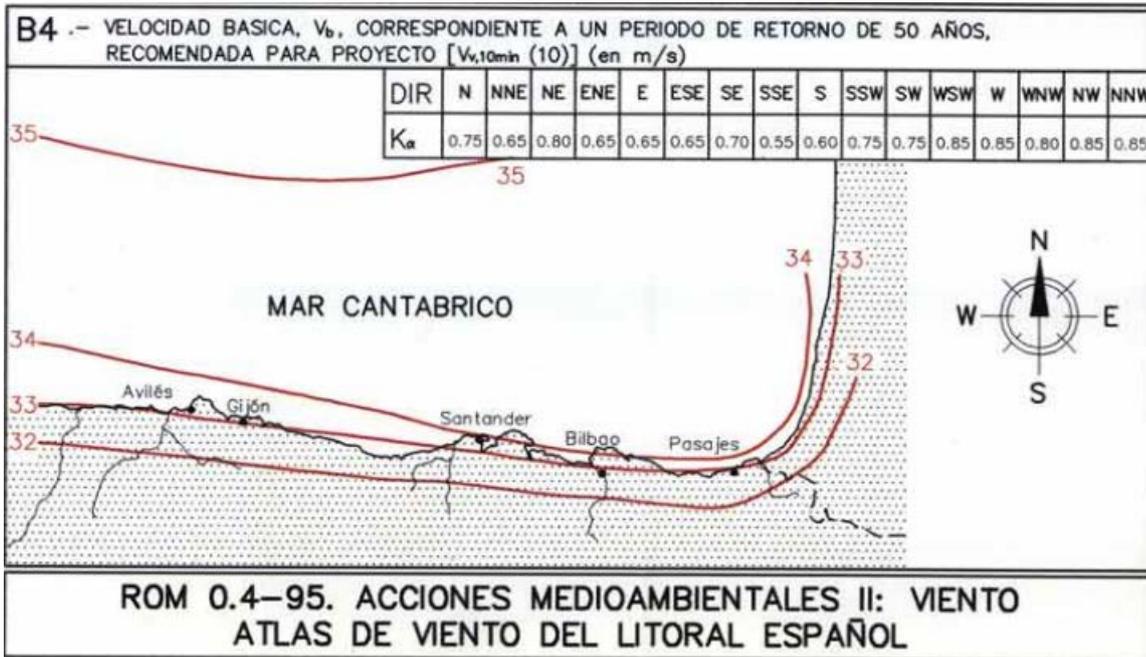
Fuente: (Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas., 1995)

Tabla 17 ROM 0.4-95.



Fuente: (Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas., 1995)

Ilustración 94. ROM 0.4-95.



Fuente: (Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas. ,1995)

Asimismo, las direcciones más desfavorables según la Ilustración 94 son:

Tabla 18. Tabla con los datos del K_α para el cálculo de $V_{72.1}$.

DIR	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
K_α	0,75	0,75	0,9	0,8	0,85	0,85	0,8	0,7	0,75	0,9	0,85	0,85	0,9	0,8	0,9	0,8

Elaboración propia con datos de la ilustración 94.

Pero las que más afectan al buque en el muelle en el muelle de Raos 8 son NE, S, W y NW puerto que la dirección del muelle es 097° y en Raos 9 el rumbo del muelle es 180° . Por lo tanto la velocidad del viento de proyecto en cada dirección asociada a un periodo de retorno de 72.1 años:

$$V_{72.1} = V_b \cdot K_\alpha \cdot F_A \cdot F_T \cdot F_R \cdot K_T \quad (17)$$

Dónde: F_A = Factor de altura y de rugosidad superficial, que se determina mediante las siguientes TABLA S de la ROM 0.4-69. La primera las clasifica por categorías del tipo de superficie, que en este caso se considera perteneciente a la Categoría III.

Tabla 19. ROM 0.4-95.

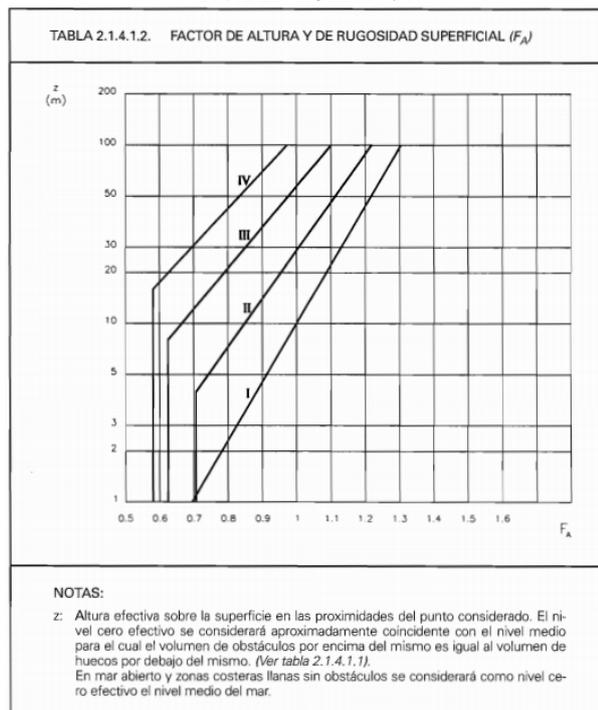
TABLA 2.1.4.1.1. CATEGORIAS DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL PARA LA DEFINICION DE LOS FACTORES DE VELOCIDAD DE VIENTO (F) Y VALORES DE LOS PARAMETROS ASOCIADOS		
TIPO DE SUPERFICIE	z_0 (m)	ALTURA DEL NIVEL CERO EFECTIVO SOBRE LA SUPERFICIE (m)
I. Mar abierto y campo abierto llano sin obstáculos (p.e. zonas costeras llanas, desiertos,...).	0.005	0.00
II. Campo abierto, llano u ondulado, con obstáculos dispérsos (p.e. praderas, páramos, ...) (nivel general de los obstáculos de 5 m).	0.05	4.00
III. Superficies boscosas, campo con obstáculos abundantes y pequeñas zonas urbanas (nivel general de los obstáculos alrededor de 10 m).	0.30	9.00
IV. Superficies con grandes y frecuentes obstáculos y grandes ciudades (nivel general de los obstáculos alrededor de 15m o más).	1.00	15.00

Fuente: (Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas. ,1995)

Una vez determinado la Categoría de rugosidad superficial, se utiliza el siguiente Gráfico para obtener el valor del factor de altura, F_A .

Para su obtención se considera que el nivel medio del mar es de 0,00 m.

Tabla 20. ROM 0.4-95.



Fuente: (Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas. ,1995)

Tabla 21. ROM 0.4-95.

TABLA 2.1.4.3.1. FACTOR DE RAFAGA MAXIMA (F_R)																	
DURACION z (m)		CATEGORIA DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL															
		I				II				III				IV			
		3s	5s	15s	1min	3s	5s	15s	1min	3s	5s	15s	1min	3s	5s	15s	1min
3	1.52	1.50	1.45	1.37	1.76	1.73	1.65	1.54	1.98	1.94	1.84	1.69	2.24	2.18	2.06	1.87	
5	1.48	1.46	1.41	1.34	1.73	1.70	1.62	1.51	1.98	1.94	1.84	1.69	2.24	2.18	2.06	1.87	
10	1.44	1.42	1.38	1.31	1.63	1.60	1.54	1.44	1.96	1.91	1.82	1.67	2.24	2.18	2.06	1.87	
15	1.42	1.40	1.36	1.29	1.59	1.56	1.50	1.41	1.86	1.82	1.73	1.60	2.24	2.18	2.06	1.87	
20	1.40	1.38	1.34	1.28	1.56	1.53	1.48	1.39	1.80	1.76	1.68	1.56	2.12	2.07	1.96	1.79	
30	1.38	1.37	1.33	1.27	1.52	1.50	1.45	1.37	1.73	1.70	1.62	1.51	1.99	1.94	1.84	1.69	
40	1.37	1.36	1.32	1.26	1.50	1.48	1.43	1.35	1.68	1.65	1.58	1.48	1.91	1.87	1.78	1.64	
50	1.36	1.35	1.31	1.25	1.48	1.46	1.41	1.34	1.65	1.63	1.56	1.46	1.86	1.82	1.73	1.60	
60	1.36	1.34	1.30	1.25	1.47	1.45	1.40	1.33	1.63	1.60	1.54	1.44	1.82	1.78	1.70	1.57	
80	1.35	1.33	1.29	1.24	1.45	1.43	1.39	1.32	1.60	1.57	1.51	1.42	1.76	1.73	1.65	1.54	
100	1.34	1.32	1.29	1.24	1.44	1.42	1.38	1.31	1.58	1.55	1.49	1.40	1.73	1.70	1.62	1.51	

Fuente: (Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas, 1995)

F_A resultará ser, $F_A = 0,65$.

F_T , es el factor topográfico que, al considerar la zona como una superficie prácticamente llana, adopta un valor de: $F_T = 1$.

F_R , es el factor de ráfaga, que se extrae de la

Tabla 22.

Al tratarse de una superficie de Categoría III, con un intervalo de medición de 60s y considerando obstáculos de altura media $z = 5$ metros, resulta un valor de: $F_R = 1,69$.

K_T , es la constante de valor característico definida por la siguiente expresión:

$$K_T = 0,75 \cdot \sqrt{1 + 2,2 \cdot \ln T} = 1,02$$

Por lo tanto, la velocidad del viento en las direcciones estudiadas asociada a un periodo de retorno de 72,1 años, $V_{v,72,1}$ resulta aplicando la fórmula 17:

 Tabla 22. Para el cálculo de $V_{72,1}$

Viento	K_α	V_b (m/s)	F_A	F_T	F_R	K_T	$V_{v,72,1}$ (m/s)
NE	0,9	34	0,65	1	1,69	1,02	34,29
SW	0,85	34	0,65	1	1,69	1,02	32,38
S	0,75	34	0,65	1	1,69	1,02	28,57
W	0,9	34	0,65	1	1,69	1,02	34,29
NW	0,9	34	0,65	1	1,69	1,02	34,29

Fuente: Elaboración propia

Las áreas de las proyecciones transversal y longitudinal del buque expuestas al viento se calcularon en el apartado 6.4 de este capítulo, con resultado:

$$A_T = 32,26 \times (27,22 + 18,00) = 1.458,79 \text{ m}^2$$

$$A_L = 250 \times (27,22 + 5,00) = 8.930 \text{ m}^2$$

Para las distintas condiciones del viento, α el ángulo formado por el eje longitudinal del buque y la dirección del viento adoptará los valores de:

Rumbo del buque atracado en Raos 8 = 95.3°

Rumbo del buque atracado en Raos 9 = 180°

Por lo tanto α lo calculamos en las tablas 23 y 24:

Tabla 23. Para el cálculo de α , dependiendo del muelle de atraque.

Viento	Dirección	Rumbo raos 8	α	Viento	Dirección	Rumbo raos 9	α
	GRADOS	GRADOS	GRADOS		GRADOS	GRADOS	GRADOS
NE	45	95,3	50,3	NE	45	180	135
SW	225	95,3	129,7	SW	225	180	45
S	180	95,3	84,7	S	180	180	0
W	270	95,3	174,7	W	270	180	90
NW	315	95,3	219,7	NW	315	180	135

Fuente: Elaboración propia

5.5.2.- Cálculo de la resultante de la acción del viento

La reacción resultante de la acción del viento sobre el buque amarrado viene dada por la fórmula 15:

Tabla 24: Para el cálculo de R_v , dependiendo del rumbo del muelle de atraque y del ángulo α .

Rumbo	R_v	$(\rho / 2g)$	C_v	V_v^2	A_T	Vto	α radianes	α	$\text{Cos}^2 \alpha$	A_L	$\text{Sen}^2 \alpha$
95,3	515,39	5,73E-05	1,3	1175,56	1458,79	NE	0,88	50,3	0,41	8930	0,59
95,3	459,72	5,73E-05	1,3	1048,57	1458,79	SW	2,26	129,7	0,41	8930	0,59
95,3	539,54	5,73E-05	1,3	816,36	1458,79	S	1,48	84,7	0,01	8930	0,99
95,3	133,42	5,73E-05	1,3	1175,56	1458,79	W	3,05	174,7	0,99	8930	0,01
95,3	394,96	5,73E-05	1,3	1175,56	1458,79	NW	3,83	219,7	0,59	8930	0,41
180	455,18	5,73E-05	1,3	1175,56	1458,79	NE	2,36	135	0,50	8930	0,50
180	406,01	5,73E-05	1,3	1048,57	1458,79	SW	0,79	45	0,50	8930	0,50
180	88,77	5,73E-05	1,3	816,36	1458,79	S	0,00	0	1,00	8930	0,00
180	782,52	5,73E-05	1,3	1175,56	1458,79	W	1,57	90	0,00	8930	1,00
180	455,18	5,73E-05	1,3	1175,56	1458,79	NW	2,36	135	0,50	8930	0,50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25. Resumen de R_v , en Raos 8.

Raos 8 = Rumbo 95,3°

RV	Vto.	α
515,39	NE	50,3
459,72	SW	129,7
539,54	S	84,7
133,42	W	174,7
394,96	NW	219,7
Toneladas		

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 25 se calcula el valor de la reacción resultante de la acción del viento para el muelle de Raos 8, en el que la dirección o rumbo de ataque es de 95.3° y con las distintas direcciones del viento.

Tabla 26. Resumen de R_v , en Raos 9.

Raos 9 = Rumbo 180°

R_V Toneladas	Vto.	α
455,18	NE	135
406,01	SW	45
88,77	S	0
782,52	W	90
455,18	NW	135
Toneladas		

Fuente: Elaboración propia.

El valor máximo es cuando el viento sopla del S y del NE, pero como podemos en la Tabla siguiente en la que vemos reflejado el valor de R_v cuando el buque está atracado en Raos 9 cuya dirección o rumbo es de 180° el valor máximo claramente lo alcanza para viento del W.

En el caso más desfavorable, el ángulo formado por el eje longitudinal del buque y la dirección de la resultante viene dado por la expresión: $\Phi = \arctg [(A_L/A_T) \cdot \text{tg } \alpha]$

Por lo que las componentes longitudinal y transversal de la resultante de la acción del viento sobre el buque serán:

Paras las direcciones más desfavorables:

Tabla 27. Direcciones más desfavorables.

RAOS 8			
ϕ GRADOS	AL	AT	α GRADOS
82,3	8930	1458,8	50,3
-82,3	8930	1458,8	129,7
89,1	8930	1458,8	84,7
-29,6	8930	1458,8	174,7
78,9	8930	1458,8	219,7
RAOS 9			
ϕ GRADOS	AL	AT	α GRADOS
-80,7	8930	1458,8	135
80,7	8930	1458,8	45
0,0	8930	1458,8	0
90,0	8930	1458,8	90
-80,7	8930	1458,8	135

Fuente: Elaboración propia.

Raos 8: Viento del S, esta condición sería la más perjudicial debido a que el muelle estará al sur del buque y el viento lo empujaría fuera del muelle, por lo que disminuiría la seguridad durante la estancia del buque atracado.

$$\alpha = 83 \text{ para}$$

$$\phi = 88,55^\circ$$

$$F_{FV} = R_V \cdot \text{sen } \phi = 536,66 \text{ sen } 88,55^\circ = 536,49 \text{ tons.}$$

$$F_{LV} = R_V \cdot \text{cos } \phi = 536,66 \text{ cos } 88,55^\circ = 13,58 \text{ tons.}$$

Raos 9: Viento del W esta condición sería la más perjudicial debido a que el muelle estará al oeste del buque y el viento lo empujaría fuera del muelle, por lo que disminuiría la seguridad durante la estancia del buque atracado.

$$\alpha = 90 \text{ para}$$

$$\phi = 89,8^\circ$$

$$F_{FV} = R_V \cdot \text{sen } \phi = 782,52 \text{ sen } 89,8^\circ = 782,5 \text{ tons.}$$

$$F_{LV} = R_V \cdot \text{cos } \phi = 782,52 \text{ cos } 89,8^\circ = 2,73 \text{ tons.}$$

Paras las direcciones más favorables:

Raos 8: Viento del NE, vamos a calcular igualmente las fuerzas que actúan pero teniendo en cuenta que el muelle está al Sur del buque atracado, esta dirección de viento lo que hace es empujar al buque contra el muelle, por lo tanto lo que hace es aumentar la seguridad cuando el buque está atracado. Por lo que la podríamos considerar condición más favorable.

$$\alpha = 52 \text{ para}$$

$$\phi = 80,86^\circ$$

$$F_{FV} = R_V \cdot \text{sen } \phi = 534,34 \text{ sen } 80,86^\circ = 527,55 \text{ tons.}$$

$$F_{LV} = R_V \cdot \text{cos } \phi = 534,34 \text{ cos } 80,86^\circ = 84,87 \text{ tons.}$$

Raos 8: Viento del W

$$\alpha = 173 \text{ para}$$

$$\phi = -30,82^\circ$$

$$F_{FV} = R_V \cdot \text{sen } \phi = 137,55 \text{ sen } -30,82^\circ = 70,47 \text{ tons.}$$

$$F_{LV} = R_V \cdot \text{cos } \phi = 137,55 \text{ cos } -30,82^\circ = 118,15 \text{ tons.}$$

Raos 9: Viento del S

$$\alpha = 0 \text{ para}$$

$$\phi = 0^\circ$$

$$F_{FV} = R_V \cdot \text{sen } \phi = 88,77 \text{ sen } 0^\circ = 0 \text{ tons.}$$

$$F_{LV} = R_V \cdot \text{cos } \phi = 88,77 \text{ cos } 0^\circ = 88,77 \text{ tons.}$$

Los cabos que se hacen firmes en las maniobras reales en Raos 8 son en verano 4 largos y dos esprines a proa y popa, total 12 líneas de amarre si suponemos que cada línea soporta 40 toneladas tendremos 480 toneladas de resistencia. Según este cálculo se tendrían que reforzar estachas con vientos de las direcciones más desfavorables como son del S y del SW cuando el viento sea superior a 32 m/s que son 62 nudos.

En invierno se aumentan los cabos con dos traveses por cabeza, lo cual aumenta la resistencia de 480 a 640 pues ahora tenemos 16 cabos a 40 toneladas por cabo.

En Raos 9 teniendo un cuenta que es un muelle por construir partiremos da las mismas condiciones de atraque anteriores y sólo habría que reforzar en verano cuando el viento del W y del SW sea superior también a 32 m/s.

De estos cálculos partiremos para realizar las simulaciones a realizar, ya tenemos las condiciones de viento extremas y los cabos necesarios para mantener el buque atracado en estas condiciones, tanto con cabos como con el sistema de amarre automático.

CAPÍTULO 6.- SELECCIÓN DEL MODELO A INSTALAR EN EL PUERTO DE SANTANDER Y PRESUPUESTO

6.1.- Introducción

Teniendo en cuenta los distintos modelos de sistemas de amarre automático que hay en el mercado y que la única empresa suministradora es Cavotec, se contactó con ella para solicitar información sobre los distintos modelos (ya descritos en los Capítulos 3 y 4) y solicitar un presupuesto sobre el modelo idóneo para los muelles seleccionados, Raos 8 y raos 9 y el modelo de tráfico que lo utilizaría.

La empresa Cavotec ha estado suministrando sistemas automatizados de amarre durante más de 14 años y está ayudando a los puertos y los operadores de transporte a entrar en la era de la automatización. Los productos MoorMaster™ están diseñados para automatizar completamente el amarre de los buques que utilicen la tecnología de vacío probada en más de 80.000 amarres realizados hasta la fecha. El sistema de amarres automáticos MoorMaster™ se utiliza como ya se ha analizado en capítulos anteriores para amarrar todo tipo de buques y tamaños RoRo, Ro-Pax, graneleros de todos los tamaños y grandes buques portacontenedores.

Ilustración 95. Sistema amarre automático Cavotec.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Ilustración 96. Sistema amarre automático Cavotec.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Basándose en el conocimiento acumulado a lo largo de estos catorce años en el uso de la tecnología MoorMaster™, esta empresa ha comprobado que los beneficios en las terminales RORO y Ferry son bastante numerosos:

- Ahorros en el tiempo de respuesta.
- Reducción de los costes de infraestructura.
- Reducción de costes de mantenimiento de las defensas.
- Aumento de la seguridad tanto en tierra como a bordo a través de la eliminación de los cabos.
- Reducción de los requerimientos de mano de obra en la terminal y en el buque para las operaciones de amarre / largado de los cabos.

Una evaluación preliminar indica que un sistema MoorMaster™ sería adecuado para el amarre rápido de los buques RORO en el Puerto de Santander.

Para la realización de este proyecto se solicitó a la empresa Cavotec un presupuesto de instalación del sistema de amarre automático MoorMaster en el Puerto de Santander en el muelle de Raos 8 y Raos 9, para ser utilizado por los buques RORO que utilizan ese muelle, la eslora de los buques que utilizarían el sistema está comprendida entre 100-265 m en las condiciones de viento de hasta 90 km/h, es decir, unos 49 nudos de velocidad.

En el documento que remitió la empresa Cavotec se incluye una estimación de las cargas que soportará el sistema de amarre automático basadas en cálculos internos con los datos

meteorológicos, características del atraque y tipos de barco suministrados por nosotros y detallados a lo largo de este proyecto.

6.2.- Presupuesto preliminar y nº de unidades necesarias

Los cálculos internos de Cavotec nos indican el número de unidades de “MoorMaster”TM40015 (modelo a instalar en el puerto de Santander) necesarias para cada velocidad del viento y para los distintos tipos de buques como se muestra en la Tabla 28.

Estas unidades se instalarían a lo largo del muelle de atraque de Raos 8 y Raos 9 para que los buques queden atracados lo más seguro posible. El cálculo se ha basado en el buque más pequeño "City of Amsterdam" y el buque mayor el "Parsifal / Texas" que utilizarán el sistema de amarre automático.

Tabla 28. Nº de unidades Cavotec por velocidad de viento.

Buque	Viento	Viento	Viento
	15 m/s	20 m/s	25 m/s
City of Amsterdam	4	6	8
Parsifal /Texas	6	10	14

Fuente: Cavotec

Ilustración 97. Buque "City of Ámsterdam".



Fuente: <http://www.marinetraffic.com>

Uno de los buques que realizan línea regular y atracan en el puerto de Santander, muelle de Raos 8, es el “City of Amsterdam” que es un cochero de bandera de la Isla de Man,

tiene 200 metros de eslora y 2.779 toneladas de GT. Los datos del buque los podemos ver en la Ilustración 98 y en la Ilustración 97

Ilustración 98. Datos del Buque "City of Amsterdam".

IMO: 9174751	Gross Tonnage: 9950
MMSI: 232004630	Deadweight: 2779 t
Call Sign: MYEU8	Length × Breadth: 100m × 20m
Flag: United Kingdom (GB)	Year Built: 1999
AIS Type: Cargo	Status: Active

Fuente: <http://www.marinetraffic.com>

Otro de los buques en los que se ha basado este presupuesto es el buque “PARSIFAL” de la empresa Wallenius Wilhelmsen como podemos ver en la Ilustración 99.

Ilustración 99. Buque Parsifal.



Fuente: FleetMon.com

Nombre: PARSIFAL

Distintivo de llamada: 9V9111. Número IMO: 951 53 95. Número MMSI: 566 085 000

Nacionalidad: Singapur. Año de construcción y astillero: 2011 - Mitsubishi heavy industries, ltd, Nagasaki

Sociedad de clasificación: Det Norske Veritas (DNV SHIP ID NO. 29356) + 1A1
GENERAL CARGO CARRIER CAR CARRIER RO/RO MCDK E0 PWDK TMON

Eslora total: 265.0m / 869.42ft. Eslora entre perpendiculares: 250.0m / 820.21ft

Manga: 32.26m / 105.84ft

Mínima: 5.5 kn. / 25 rpm. Despacio: 8.5 kn. / 40 rpm. Madia: 10.5 kn. / 48 rpm. Toda: 12.0 kn. / 55 rpm

Puntal de diseño (upp dk): 33.22 m / 108.99ft. Máxima altura desde la quilla: 53.7m / 176.18ft

Peso muerto de verano: 43 878 mton. 12,330 m

6.3.- Definiciones de capacidades y detalles del sistema

La capacidad de las unidades MoorMaster™ viene determinado además de por el tamaño de los buques por los siguientes determinantes:

- Viento
- Corriente
- Acción de las olas
- La variación de la altura de la marea
- Interacción del buque con las defensas.

6.3.1.- Viento y corriente de diseño de la unidad MoorMaster

Como viento de diseño se han propuesto tres escenarios de la velocidad de viento como vemos en la Tabla 28. Nº de unidades Cavotec por velocidad de viento. .

La corriente no afecta el muelle de Raos 8.

6.3.2.- Medida de los buques

El sistema MoorMaster™ sugerido ha sido calculado en base a estimaciones de las áreas de viento del buque más pequeña para ser amarrado "City of Amsterdam" Ilustración 97 y el barco más grande "Parsifal" Ilustración 99, cuyas características ya se han descrito en el apartado 6.2.- Presupuesto preliminar y nº de unidades necesarias, o "Texas" cuyas características se describirán en el capítulo 9.

En el muelle de Raos 8, atracan buques cocheros y RoRo. Los buques cocheros que son buques con esloras comprendidas entre 90 m. y 150 m. atracan en la rampa doble que hay en el muelle, son buques que tienen la rampa por la popa y que necesitan posarla sobre la rampa del muelle, suelen ser buques que hacen líneas regulares y cargan y descargan principalmente coches, también mueven maquinaria rodada y maquinaria sobre

plataforma. Y los buques RoRo son buques de mayor tonelaje que transportan coches, camiones y mercancía pesada rodada tanto sobre plataforma como sobre ruedas y orugas. Estos barcos atracan en el muelle donde no hay rampa porque estos buques necesitan apoyar la rampa de popa sobre el muelle.

En la Tabla 29 podemos ver las líneas regulares que utilizan el muelle de Raos 8 en el que se quiere implantar el sistema de amarre automático.

Como podemos ver en la Tabla 29 anualmente hay una estimación de 336 escalas de las cuales en la rampa doble atracarán 150 y el resto en el muelle.

Tabla 29. Líneas regulares que utilizan el muelle de raos 8 del puerto de Santander.

Consignatario	Compañía Naviera	Puertos-ruta	Escalas anuales	Mercancía
Bergé Marítima, S.L.	UECC (United European Car Carriers)	Santander, Pasajes, Zeebrugge, Southampton, Rotterdam, Le Havre	150	Automóviles, maquinaria pesada y elementos de transporte rodados
Bergé Marítima, S.L.	VOLKSWAGEN TRANSPORT GMBH V.A.G.	Santander, Emden y Dublín	50	Automóviles
Vapores Suardiaz Norte, S.L.	LD LINES	Santander, Poole, Montoir y Gijón	52	Pasajeros, vehículos privados, automóviles, mafis, trailers y semirremolques
Marítima Dávila Madrid, S.A.	HØEGH AUTOLINERS, de Oslo	Gothenburg, Newcastle, Bremerhaven, Amberes, Le Havre, Southampton, Santander, Tanger, Port Elizabeth, East London, Durban, Maputo, Tamatave, Port Reunion, Port Louis, Fremantle, Melbourne, Port Kembla, Brisbane, Auckland, Noumea	46	Automóviles, camiones, maquinaria y mercancía rodada
Hijos de Basterrechea, S.A.	WALLENIUS WILHEMSEN LOGISTICS	Ruta 1: Santander, Baltimore, Galveston, Veracruz, Cartagena, Manzanillo, Guayaquil, Callao, Antofagasta.	12	Mercancía roto
Hijos de Basterrechea, S.A.	WALLENIUS WILHEMSEN LOGISTICS	Ruta 2: Santander, Port Elizabeth, East London, Durban, Fremantle, Melbourne, Port Kembla, Brisbane.	12	Mercancía roto
Hijos de Basterrechea, S.A.	WALLENIUS WILHEMSEN LOGISTICS	Ruta 3: Santander, Baltimore, Savannah, Galvestone, Manzanillo, Auckland, Brisbane, Port Kembla, Melbourne.	12	Mercancía roto
Cantabriasil, S.A.	GRIMALDI	Southampton, Fhishing, Emden, Amberes, Santander y Valencia	2	Mercancía roto
8			336	

Fuente: <http://www.puertosantander.es>

En las tablas Tabla 30 y Tabla 31 hace un estudio comparativo de los buques que han escalado en el puerto de Santander en los años 2013 y 2014.

De aquí deducimos que en el año 2013 han atracado en algún muelle del puerto de Santander un total de 1.416 buques de los cuales 339 atracaron en el muelle de Raos 8, lo que nos indica que casi el 24% de los buques que escalan en Santander atracan en el muelle seleccionado y en el 2014 lo hicieron de los 1.490 buques que atracaron en Santander 381 utilizaron raos 8, casi un 26%., como podemos comprobar ha habido un aumento de buques tanto a nivel total como de los buques que demandan un atraque en el puerto de Santander como en el muelle de raos 8.

Las siguientes tablas las hemos elaborados, analizando el tráfico anual del puerto de Santander en el 2013 y 2014, agrupando el tráfico por número de escalas totales, en raos 8 tanto por número de buques como por GT.

Tabla 30. Buques en el puerto de Santander en el 2013 y media del GT mensual.

2013	ESCALASTOTALES	ESCALAS RAOS 8	GT TOTAL	GT RAOS 8
ENERO	95	17	1.080.431	572.504
FEBRERO	102	27	1.561.966	765.418
MARZO	121	32	1.939.436	870.836
ABRIL	114	30	1.817.914	791.687
MAYO	135	36	2.103.058	952.110
JUNIO	114	30	1.875.233	913.316
JULIO	124	31	1.955.883	840.789
AGOSTO	104	16	1.639.666	504.466
SEPTIEMBRE	142	30	2.120.383	857.178
OCTUBRE	129	35	1.901.437	914.970
NOVIEMBRE	135	34	2.182.855	936.975
DICIEMBRE	101	21	1.609.437	708.844
	1416	339	1.815.642	802.424

Fuente: Elaboración propia con datos de <http://www.puertasantander.es>

Tabla 31. Buques en el puerto de Santander en el 2014 y media del GT mensual.

2014	ESCALAS TOTALES	ESCALAS RAOS 8	GT TOTAL	GT RAOS 8
ENERO	100	22	1.465.264	668.618
FEBRERO	101	30	1.764.222	850.158
MARZO	139	38	2.540.132	1.173.768
ABRIL	135	31	2.399.688	1.049.660
MAYO	141	38	2.862.734	1.425.774
JUNIO	116	28	2.282.493	979.839
JULIO	130	32	2.440.702	1.111.940
AGOSTO	139	24	2.456.961	1.015.664
SEPTIEMBRE	128	33	2.561.219	1.175.277
OCTUBRE	126	37	2.457.791	1.370.249
NOVIEMBRE	114	30	2.197.435	1.043.516
DICIEMBRE	121	38	2.269.824	1.490.940
	1490	381	2.308.205	1.112.950

Fuente: Elaboración propia con datos de <http://www.puertasantander.es>

6.3.3.- Zonas de unión

Las zonas de unión entre el robot de amarre y el casco del buque deben ser lo suficientemente resistentes para aguantar una fuerza de 200 kN vacío sobre una superficie de 1.9x1.4 m (tamaño de la almohadilla de vacío), y debe estar el casco del buque libre de obstrucciones. El sistema a instalar se compone de robots compuestos por dos almohadillas cada una que hacen un total de 400 kN de fuerza de vacío por robot.

6.3.4.- Acción de las olas y nivel del agua y calados

En los puestos de atraque elegidos para la instalación del sistema de amarre automático no afecta el oleaje.

La diferencia de la altura de la marea en el Puerto de Santander como podemos ver en la siguiente Tabla puede ser hasta de 5 metros, en mareas vivas.

De esta Tabla podemos deducir las variaciones de la altura de la marea con mareas vivas y muertas que son las condiciones extremas. En el año 2013 en la marea más viva la diferencia de altura fue paso de 5.11m a 0.67, el nivel del agua bajo 4.44 m en 6 horas y en marea muerta la altura de la marea pasó de 3.81m a 2.08m en 6 horas, es decir la diferencia de altura de la marea es de 1.73m.

Tabla 32. Mareas de Santander, mareas vivas y muertas del 2013.

TABLA DE MAREAS 2013					
MESES	DIAS	PLEAMARES		BAJAMARES	
		Hora H.M.	Altura M.	Hora H.M.	Altura M.
MAREAS VIVAS					
ENERO	13	5:16	5,11	11:28	0,67
FEBRERO	11	4:59	5,06	11:10	0,63
MARZO	12	4:39	4,93	10:47	0,78
ABRIL	27	17:31	4,98	23:39	0,69
MAYO	26	17:17	5,01	23:28	0,70
JUNIO	24	17:07	5,06	23:19	0,67
JULIO	24	17:42	5,13	23:53	0,63
AGOSTO	22	17:22	5,18	23:31	0,68
SEPTIEMBRE	19	16:18	5,07	22:26	0,77
OCTUBRE	7	17:09	4,88	23:17	0,98
NOVIEMBRE	5	5:08	5,03	11:15	0,91
DICIEMBRE	5	5:40	5,08	11:51	0,79
MAREAS MUERTAS					
ENERO	21	12:24	3,57	6:04	2,20
FEBRERO	19	11:33	3,41	17:36	2,25
MARZO	20	10:40	3,43	16:37	2,31
ABRIL	19	11:16	3,48	17:07	2,19
MAYO	18	10:20	3,62	16:14	2,10
JUNIO	17	10:37	3,81	16:33	1,96
JULIO	31	11:36	3,67	17:42	2,10
AGOSTO	29	23:24	3,54	16:58	2,23
SEPTIEMBRE	28	23:59	3,54	4:29	2,32
OCTUBRE	27	23:04	3,58	3:36	2,30
NOVIEMBRE	26	23:12	3,73	3:51	2,23
DICIEMBRE	26	23:17	3,81	4:02	2,08

Fuente: <http://www.puertasantander.es>

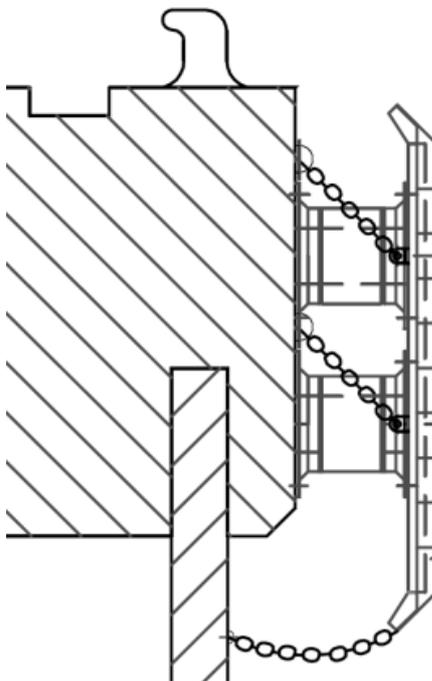
Esto significa que las unidades MoorMaster™ tendrían que ser capaces de soportar las variaciones de la marea, es decir movimientos verticales, por lo que se necesitan dos unidades adicionales más que si no hubiese variaciones de altura de la marea.

6.4.- Datos adicionales

6.4.1.- Dimensiones de las defensas

El cálculo de las unidades necesarias se ha efectuado teniendo en cuenta que las defensas que hay en el puerto de Santander son los de la Ilustración 100, las características de la defensa indican una profundidad defensa sin comprimir de 1200 mm de 200 mm que es el panel de defensa.

Ilustración 100. Dibujo de las defensas existentes en el puerto de Raos 8 de Santander.



Fuente: <http://www.puertasantander.es>

7.4.2.- Temperatura

El Sistema MoorMaster™ puede soportar un rango de temperaturas comprendidas entre -25°C y +50°C.

7.4.3.- Superficie de interacción.

Las ventosas de vacío del sistema MoorMaster™ requieren que la zona de unión este lo más uniforme posible, lo más liso que se pueda (+/- 20 mm).

7.4.4.- Maniobra de aproximación al muelle.

La presión máxima del casco contra las juntas de goma las ventosas de vacío que puede soportar el sistema durante la maniobra de atraque es de 2 kN por almohadilla, total 4 kN por robot.

El tiempo necesario para que el buque quede firme a las ventosas de vacío es entre 30-35 segundos.

6.5.- Presupuesto preliminar del sistema MOORMASTER

TM 400₁₀

6.5.1.- Sistemas de amarre automático MM40015

En la Tabla 33 podemos ver el precio de cada elemento o robot de vacío y el número de unidades necesarias dependiendo de la fuerza del viento. Este presupuesto se ha realizado analizando todos los datos expuestos en apartados anteriores relacionados con el puerto de Santander, muelle de Raos 8 y 9, su meteorología, orografía y tipos de buques que utilizarán el muelle, buques RoRo comprendidos entre 100 y 265 m de eslora.

Tabla 33. N° de unidades Cavotec por velocidad de viento y precios unitarios.

Wind speed max.	No. of units	System price
15 m/s	6	€ 3,000,000
20 m/s	10	€ 4,900,000
25 m/s	14	€ 6,700,000

Fuente: <http://www.cavotec.com/>

6.5.2.- El presupuesto 1ncluye

- 1.- Unidades MoorMaster necesarias, centro de control remoto MoorMaster compuesto por una estación fija, una móvil y los ordenadores e instalación de software + hardware completo con licencia propia para gestionar automáticamente las ventosas y adaptarlas a los cambios de presión que sufran con los movimientos del buque.
- 2.- Supervisión de la instalación, puesta en marcha y capacitación del personal que operará con el sistema. Incluye un juego completo de manuales en ingles de operación y mantenimiento.
- 3.- Monitoreo de diagnóstico remoto, lo cual incluya acceso gratuito mediante atención telefónica y servicio en línea durante el período de garantía, asistencia telefónica 24 horas durante los 7 días de la semana.

6.5.3.- El sistema excluye

Los siguientes artículos están excluidos del suministro de Cavotec

- El diseño civil de las obras civiles y su realización.
- La instalación de las unidades MM400E15
- La mano de obra para instalación del sistema hidráulico y eléctrico de vacío y los materiales.
- Las licencias, permisos y autorizaciones relativas a la instalación de los equipos.
- La instalación de cableado entre las unidades individuales, entre el sistema de amarre y subestación eléctrica.
- Cableado para las comunicaciones entre unidades de amarre y el centro de control del sistema, y entre sistema de amarre y el cubo internet.
- VPN o conexión de otro hardware o software necesario para facilitar el monitoreo remoto en línea.
- Cualquier información o suministro de datos meteorológicos y oceanográficos (olas, viento, mareas, etc.)
- El GST, el IVA, impuestos locales, impuestos de ventas, impuestos u otros cargos no mencionados específicamente en el presente documento

6.5.4.- Condiciones de entrega

- Incoterms 2010 EXW Nova Milanese, Italia
- El plazo de entrega es de 12 a 14 meses; se confirmará en el momento de la orden de compra

Definición EXW 2010 (New Pyme S.L., 2015):

Significa que el vendedor cumple su obligación de entrega cuando pone la mercancía, en su establecimiento (fábrica, almacén, etc.), a disposición del comprador.

El incoterm EXW se puede utilizar con cualquier tipo de transporte o con una combinación de ellos. El comprador asume el grueso de los gastos con esta modalidad.

Obligaciones Comprador:

Cargar la mercancía en vehículos proporcionados por el mismo o de despacharla de aduana para la exportación, salvo acuerdo en contrario, correrá con todos los gastos (licencias, autorizaciones, formalidades, impuestos,...) y riesgos de tomar la mercancía del domicilio del vendedor hacia el destino deseado, e incluso los de pérdida o daño que pueda sufrir la mercancía a partir del aviso del vendedor.

Asumir los gastos aduaneros.

Reembolsar los gastos que haya realizado el vendedor al prestar su ayuda en la obtención de documentos, permisos, etc. y efectuar el pago de la mercancía según lo estipulado.

Obligaciones Vendedor:

Suministrar la mercancía y la factura, o su equivalente mensaje electrónico, de conformidad con el contrato de venta y ponerla a su disposición en el lugar designado a la fecha estipulada, en caso contrario, en el lugar y fecha acostumbrados, con aviso suficiente al comprador.

Prestar la ayuda que precise el comprador para obtener cualquier licencia, autorización, seguro, etc.

Soportar todos los gastos (marcado, embalaje, peso, etc.), incluidos los riesgos de pérdida y daño, hasta que la mercancía no haya sido puesta disposición del comprador.

6.5.5.- Validez

Todos los precios son fijos y a la firma y por un período de 90 días a partir de la fecha de firma del contrato.

6.6.- Posibles beneficios para el puerto de Santander

Es diferente de un puerto a otro, pero se enumeran las ventajas que MoorMaster™ puede ofrecer y está ofreciendo en los puertos en los ya está funcionando, en las conclusiones finales se expondrá cuáles de estos beneficios son aplicables al puerto de Santander.

1. Al facilitar y agilizar las maniobras el atraque queda antes libre.
2. Ahorro de las infraestructuras necesarias, aprovechando al máximo las líneas de atraque, pues los buques no necesitan tanto espacio entre uno y otro para atracar, puesto que no necesitan cabos y las maniobras son más rápidas y seguras.
3. Los cambios de posición de atraque se puede realizar sin la ayuda de los amarradores.
4. Mejora del medioambiente por la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmosfera al reducir los tiempos de maniobra y de estancias en puerto.
5. El tiempo que se necesita para que el buque quede completamente amarrado de 30 a 40 segundos, y no se necesita la asistencia de los amarradores sólo del operador del sistema.

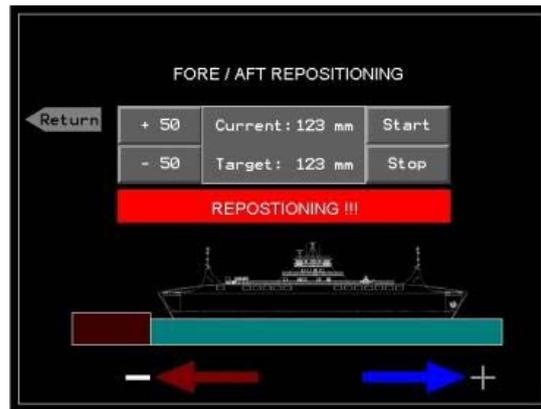
6. En la maniobra de salida, el buque queda libre del muelle entre 10 y 15 segundos.
7. Sólo se necesita un operador a bordo o en tierra, depende del modelo del sistema para amarrar o liberar el buque.
8. A bordo tampoco se necesita personal a proa y popa para realizar las maniobras, sería aconsejable uno a proa por si hubiese alguna emergencia.
9. Aumento de la seguridad en la realización de las maniobras tanto a bordo como en el muelle.
10. El sistema se adapta a los cambios de las mareas automáticamente no se necesita estar continuamente virando ni arriando cabos.
11. Se reducen los costes de mantenimiento de los cabos, maquinillas y elementos de maniobra de los buques y también se reduce el personal necesario.
12. Potencial disminución del combustible necesario para la realización de las maniobras y estancias en puerto.
13. La reducción de las estancias en puerto se puede traducir en una disminución de la velocidad de travesías entre puertos.

Ilustración 101. Sistema amarre automático Cavotec.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Ilustración 102. Sistema amarre automático Cavotec.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

6.7.- Descripción funcional del modelo MOORMASTER

TM 400₁₀

6.7.1.- Operación de atraque o amarre

La operación de amarre es casi totalmente automatizada sólo requieren un operador en el barco o el muelle en función de las opciones de control elegidos.

6.7.2.- Amarre

Justo antes de atracar, las unidades se encienden desde la estación de control. Esto se hace para que la unidad pueda realizar los autocontroles internos necesarios y posicionar adecuadamente las ventosas detrás de la línea de defensas, listas para amarrar.

Una vez parado el buque y situado en posición junto a las unidades de amarre, el barco quedará amarrado con el comando 'MOOR' desde la estación de control, desde el puente del buque o desde el mando a distancia. Las ventosas se extenderán hacia el exterior, juntando automáticamente el casco a la posición final de atraque, en 40 segundos el buque queda amarrado.

El sistema tiene una secuencia de posicionamiento automático, las ventosas se mueven desde su posición por detrás de la línea de defensas y se fija al buque para moverlo unos 100 mm desde esta posición hasta la posición final de atraque. La distancia "stand off" está programada, pero el control flexible permite al operador modificar esta distancia para satisfacer las necesidades de los diferentes buques.

Después de posicionar el buque, los principales componentes del sistema se cambian a un modo "pasivo".

En general, el sistema de amarre tiene necesidad limitada de potencia durante toda la estancia puerto. En este modo "pasivo", los "robots" de amarre se revierten a un patrón de espera a presión suave, reaccionando a las fuerzas de marea y viento para mantener al buque en su posición.

El sistema es muy sensible a las fuerzas de amarre y la energía cinética. El consumo de energía depende de la frecuencia de la operación paso a paso y / o de los niveles de mantenimiento de vacío.

6.7.3.- Desamarre

Para el desatraque o desamarre el Sistema empuja al buques más afuera de la línea de defensas y después el operador pulsa el botón de "Desatraque" y los robot se despagan del buque en 20 segundos y se sitúan en su posición de reposo.

6.7.4.- Sistema de alarmas

Toda la información del estado del buque y del Sistema de amarre automático es recibida por el operador en tiempo real, da lo mismo que el Sistema sea operado desde el buque, desde el puesto de control o desde el muelle.

En caso de cualquier fallo, o de cualquier alarma el operador podrá actuar casi instantáneamente.

6.7.5.- Sistemas de control del sistema

El Sistema como ya se explicó puede ser controlado de distintas maneras dependiendo del Puerto y del barco.

Lo puede manejar un operario desde el muelle mediante el mando de control remoto, también desde el buque si este tiene instalado a bordo el software para manejar el Sistema, esto es posible en buque que hacen escalas regulares y tienen el Sistema implementado a bordo y por ultimo desde el centro de control mediante un operador que ve la maniobra de atraque mediante cámaras y está conectado por radio con el práctico que le dará la orden para hacer firme el sistema al barco.

6.7.5.1.- Sistemas de control en el muelle

Este tipo de control en el muelle monitoriza las unidades de amarre desde una terminal central. Este terminal se puede integrar en una unidad MM400 o independiente que es más recomendable en una posición con buena visibilidad de las líneas y posiciones de

amarre. Este terminal de control de las unidades de amarre, nos muestra en las pantallas los registros de la información de diagnóstico siguiente:

- Los niveles de vacío por unidad de amarre, y por bloc individual.
- Fuerzas que reaccionan a las cargas de los buques.
- Carga general amarre experimenta frente a la carga de capacidad del sistema.
- Estado de los elementos de control tales como motores, válvulas, etc.

6.7.5.2.- Opciones disponibles

Hay algunas opciones de control que están disponibles y no están incluidas en el presupuesto llevan un coste adicional:

Las comunicaciones de radio utilizan protocolos garantizados / cifrados.

6.7.5.3.- Sistema de control a bordo

Con esta opción, los capitanes de los buques pueden controlar las operaciones de amarre y desamarre directamente, sin la asistencia de personal en tierra. Este control se instala en el buque en lugar de en un puesto de control en el muelle.

6.7.5.4.- Sistema de control en tierra

Esta opción permite al personal del buque estar informado de los cambios en la posición del sistema de amarre en tiempo real durante la estancia del buque amarrado. Este sistema de control consiste en un localizador diseñado para transmitir mensajes cortos a los equipos de mano portátiles.

Esta opción se debe instalar teniendo en cuenta la asignación de frecuencias de radio de las autoridades locales, y puede requerir una licencia anual.

6.7.5.5.- Sistema de control remoto móvil

Esta opción consiste en unidades de control remoto (similares a los controladores de grúas remotas) que comunican con el sistema de amarre a través de estaciones de base que permiten al buque o al personal de tierra controlar el amarre y rectificar éste, en caso necesario. Este sistema de control remoto móvil permite configurar la posición de las unidades de amarre, y resetear algunas alarmas.

Estos controles remotos pueden ser manipulados a bordo por el práctico, y que permanezcan a bordo durante la estancia del buque en el puerto para poder hacer las rectificaciones necesarias.

Nota: La capacidad de largar el buque por control remoto está disponible, pero no es recomendable.

Las opciones de control habilitados para una unidad en particular se pueden configurar en la terminal principal.

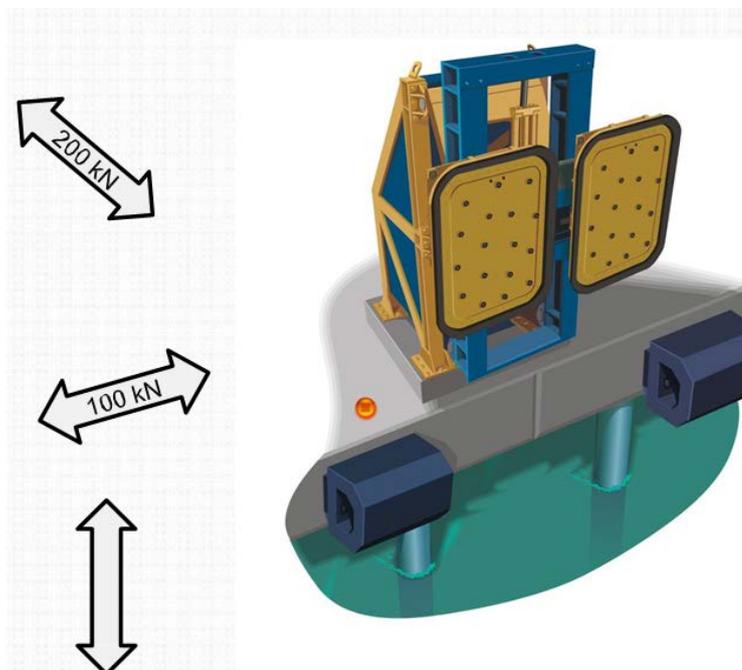
6.8.- Especificaciones del modelo MOORMASTER™ 400₁₀

6.8.1.- Dimensiones y características

Máxima fuerza de retención: 400 kN (puede ser modificado hasta 475kN)

Máxima fuerza de sujeción por almohadilla: 200 kN (Sobre la base de un coeficiente máximo de fricción entre la almohadilla y el recipiente de 0,5)

Ilustración 103. Fuerza de retención del modelo MoorMaster™400



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

Recorrido vertical: 2000 mm.

Desplazamiento lateral: 800 mm.

Extensión: 960 mm.

Consumo de energía: 17kW (Pico)

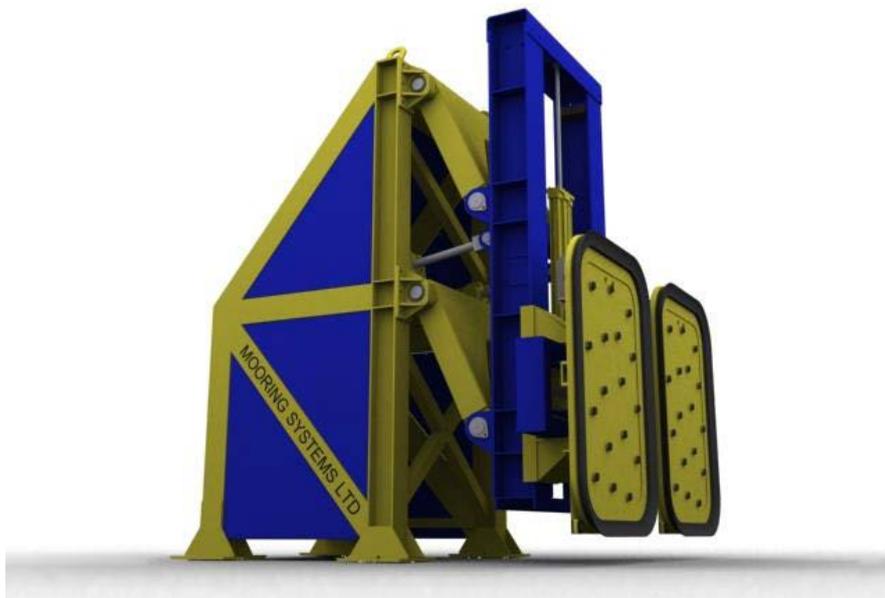
Altura de la unidad: 4000 mm.

Ancho de Unidad: 3060 mm. Y de la base 2150 mm.

Profundidad Unidad: 3050 mm. y de la base 2000 mm.

Unidad Peso: aprox. 10.000 kg.

Ilustración 104. Sistema amarre automático Cavotec.



Fuente: <http://www.cavotec.com/>

6.8.2.- Rango de movimiento

El sistema de amarre automatizado Cavotec MoorMaster Ltd's. Modelo "MoormasterTM 400₁₀" tiene la capacidad de mantener al buque atracado absorbiendo los movimientos en los tres ejes lineales de movimiento (x, y, z).

La magnitud de estos desplazamientos la determina la idoneidad de la instalación de un MM400 "estándar", en oposición a una unidad de amarre diseñado específicamente para un muelle determinado.

A continuación se enumeran las descripciones de los tres desplazamientos lineales que se necesitan controlar con este sistema de amarre.

- Alcance:

Máximo: 960 mm

Mínimo Requerido: 700mm (Para superar bandas buque y profundidad de las defensas)

El alcance debe ser suficiente para posicionar al buque por delante de la línea de defensas y mantenerlo a una distancia de seguridad tanto para amarrar como para liberar al buque en la maniobra de salida. El buque en posición de reposo, es decir, una vez amarrado permanece posado en las defensas y acoplado a las ventosas.

Debe proporcionar un recorrido suficiente para permitir que el sistema de amarre sea capaz de disipar la carga dinámica producida por las condiciones ambientales severas, o por las operaciones de carga y descarga, y / o anomalías tales como efectos transitorios.

- Movimiento lateral:

Máximo: 800 mm (+/- 400 mm cada lado del centro)

Es necesario este desplazamiento lateral por las siguientes razones;

Para colocar al buque correctamente en la posición de atraque requerida, moviendo el buque hacia proa o popa después del acoplamiento de las ventosas.

Proporcionar suficiente movimiento para permitir que el sistema de amarre disipe cualquier dinámica producida por las condiciones ambientales severas, las operaciones de carga o descarga o efectos transitorios.

- Movimiento vertical

Máximo: 2000 mm

Se requiere rango vertical por las siguientes razones

Para adaptarse a los cambios verticales que puede sufrir el buque debido a:

- a. Cambio de calados debido a las operaciones de carga y descarga.
- b. Oleaje
- c. Variación del nivel del agua en el muelle debido a las mareas.

CAPÍTULO 7.- EL SERVICIO DE AMARRE EN EL PUERTO DE SANTANDER

El servicio portuario de amarre consiste en recoger las amarras del buque, portarlas y encapillarlas a los elementos fijos de tierra (norays, bolardos o elementos especiales de amarre dispuestos en los muelles), siguiendo las instrucciones del Capitán del buque, o del práctico autorizado por este, en la zona o muelle designado por la Autoridad Portuaria. El desamarre consiste esencialmente en la operación inversa.

En las maniobras de amarre/ desamarre en algunas ocasiones es necesario la intervención de un bote que recoja los cabos en el buque y que los acerque a los amarradores de tierra para que los coloquen en los dispositivos de amarre. El bote también se utiliza en atraques convencionales, sobre todo en el amarre de algunos buques para facilitar o agilizar la operación.

El servicio de amarre comprenderá asimismo el “amarre a flote” consistente en recoger los primeros cabos lanzados desde el buque sirviéndose de una embarcación apropiada y acercarlos a los amarradores en tierra para encapillarlos.

Se entiende por “enmienda” el movimiento de cambio atraque del buque en puerto, durante la misma escala, siendo el nuevo atraque en el mismo muelle o en otro distinto.

7.1.- Recursos humanos y materiales

Para realizar el servicio de amarre de un buque se necesitan tres tipos de operarios, los propios amarradores, la tripulación de la embarcación y los conductores de los vehículos. A continuación se desglosan las necesidades para cada nivel de servicio.

7.1.1.- Recursos del servicio en tierra

7.1.1.1.- Nivel de servicio

La demanda de recursos humanos y materiales para cubrir el servicio en tierra está en función, entre otros factores, de la operativa a realizar (tipo de operación, media de las operaciones diarias, variaciones según el día de la semana, puntas horarias, etc.) (Barbudo Escobar ,2004) y del nivel del servicio requerido (número mínimo de amarradores en

tierra según el tipo de buque y operación). También debe tenerse en cuenta otras variables como pueden ser las condiciones meteorológicas, las particularidades de los diferentes muelles, etc.

Se fija el número mínimo de amarradores por operación, en función del tipo de operación (amarre o desamarre) y del tamaño del buque (GT), según la Tabla siguiente:

Tabla 34. Número mínimo de amarradores en tierra.

Dotación mínima de amarradores en tierra.		
Arqueo del Buque (GT)	AMARRE	DESAMARRE
MENOR DE 7000 GT	2	2
GT ENTRE 7000 GT Y 15000 GT	3	2
MAYOR O IGUAL A 15000 GT	4	2

Fuente: Elaboración propia

Estos mínimos se fijan en base a la experiencia particular observada en el puerto y suponen una operativa en condiciones climatológicas normales. Se entiende que será necesario incrementar el personal en la situación de fuerte viento, o en presencia de cualquier otro factor que aumente el riesgo.

7.1.1.2.- Cuantificación

Como resultado de analizar el tráfico y el número de maniobras a realizar se concluye que son 10 personas necesarias para garantizar el nivel de servicio requerido a turnos de 5 personas por turno.

Según el Convenio Colectivo Nacional de Amarradores (BOE 203 de 22 de agosto de 1996) (Amarradores ,1996), a cada persona le corresponde realizar 40 horas semanales y 30 días de vacaciones anuales. Añadiendo 6 semanas de días festivos, el total de horas anuales laborables es de 1800.

7.1.2.- Recursos del servicio de bote

7.1.2.1.- Nivel de servicio

El bote es necesario en los amarres/ desamarres realizados en la terminal de Terquisa por los duques de alba y en los atraques de buques de gran GT para agilizar las maniobras y que se realicen de la manera más segura posible. Las maniobras con bote se realizan en función del tipo de buque, de su maniobrabilidad, de las condiciones de accesibilidad del muelle y de factores climáticos, entre otros.

Así el nivel de prestación exigido se traduce en que los recursos disponibles, tanto humanos como materiales, deberán asegurar la posibilidad de prestar el servicio según las premisas anteriores.

Las embarcaciones deberán estar debidamente matriculadas y despachadas por la Autoridad Portuaria correspondiente y llevarán su identificación reglamentaria en sitio visible, pudiendo la Autoridad Portuaria correspondiente establecer identificaciones complementarias.

Las embarcaciones deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Disponer de buena visibilidad y adecuada plataforma de trabajo.
- b) Potencia mínima de 100 C.V. y buen gobierno para obtener óptima maniobrabilidad.
- c) La hélice y timón deberán estar protegidos para evitar su contacto con los cabos de amarre.
- d) El material para el manejo de los cabos de amarre debe ser adecuado y con la resistencia necesaria.
- e) Al menos una embarcación auxiliar a utilizar para el atraque de buques tanque debe tener el casco ignífugo y todo el equipo a bordo debe ser del tipo aprobado, incluyendo los escapes, para evitar fuentes de ignición.
- f) Deben estar equipadas con las defensas adecuadas.
- g) Dotación mínima de personal según normativa de la Dirección General de la Marina Mercante y disposición de equipo V.H.F. banda marina.
- h) Equipamiento suficiente de sirgas y bicheros para facilitar el manejo de estachas.

7.1.2.2.-Cuantificación

Como resultado de analizar el tráfico y el número de maniobras a realizar se concluye que son 4 vehículos necesarios para garantizar el nivel de servicio requerido.

En este caso, la condición impuesta es que el número de botes requeridos debe cubrir el 99% de la demanda.

Como resultado de analizar la función de distribución se concluye que son 2 botes necesarios para garantizar el nivel de servicio requerido. Para dimensionar el personal de botes (patrones y tripulantes de las embarcaciones) se supone que son necesarias dos

personas por embarcación, pero que una de ellas también puede realizar funciones de amarre en tierra.

7.1.3.- Recursos del servicio de vehículos

7.1.3.1.- Nivel de servicio

Los vehículos, que han de ser especiales tipo “4x4 pick up” dotados con maquinilla movida por el motor del vehículo, necesarios en los servicio de amarres/ desamarres siempre son mínimo dos en condiciones normales de accesibilidad del muelle y de factores climáticos, entre otros, un coche para proa y otro para popa.

Así el nivel de prestación exigido se traduce en que los recursos disponibles, tanto humanos como materiales, deberán asegurar la posibilidad de prestar el servicio según las premisas anteriores.

7.1.3.2.-Cuantificación

Como resultado de analizar el tráfico y el número de maniobras a realizar se concluye que son 4 vehículos necesarios para garantizar el nivel de servicio requerido.

Para dimensionar el personal de vehículos se supone que son necesarias dos personas por vehículo, pero las dos también pueden realizar funciones de amarre.

7.1.4.- Recursos totales

Como conclusión, la necesidad de recursos humanos y materiales disponibles en fecha de inicio de la prestación se estima en 10 personas (incluyendo amarradores en tierra, patrones y tripulación de las embarcaciones), 4 coches y 2 botes.

7.2.- Costes de prestación

7.2.1.- Componentes del coste

La estructura de costes de la actividad tiene como principal componente los costes de personal. Otros, aunque claramente en segundo orden, son los de amortización, reparación y mantenimiento de las embarcaciones, financieros, suministros, seguros...

A continuación realizaremos una estimación de cada uno de estos capítulos.

7.2.1.1.- Costes de Personal

Teniendo en cuenta las necesidades de personal que se han deducido y que constan que son los utilizados en el puerto de Santander, el equipo de amarradores está compuesto por diez personas para cubrir con suficiente garantía el servicio. Adicionalmente se debe contar con un director-gerente, un director de operaciones y un administrativo.

El salario de los amarradores se ha estimado considerando el salario base que se incluye en el (Convenio Nacional de Amarradores, Convenio Nacional de Amarradores) vigente, incrementado con un plus por complementos y antigüedad de aproximadamente un 60%. El salario total de 1996 se ha actualizado con la variación del IPC. También se ha añadido las cotizaciones a la Seguridad Social que se han estimado en un 30% sobre el salario total. El resultado de aplicar los anteriores conceptos sería el coste laboral que se ha considerado.

Complementariamente se ha fijado un salario bruto de 72.000 y 54.000 € para el director gerente y el director de operaciones, respectivamente. Esto representa unos costes para la empresa de 93.600 y 70.200 €. El salario del administrativo se ha fijado en 20.500 € que representa 26.500 € anuales para la empresa.

Los costes totales de personal se estiman en, aproximadamente, 442.240 €

Tabla 35. Costes laborales. Elaboración propia.

	Nº	COSTE/ UD	TOTAL ANUAL/ €
DIRECTOR -GERENTE	1	93.600	93.600
DIRECTOR OPERACIONES	1	70.200	70.200
AMARRADORES	10	25.194	251.940
ADMINISTRATIVA	1	26.500	26.500
			442.240

Fuente: Elaboración propia.

7.2.1.2.- Amortizaciones

Se ha considerado la disponibilidad de 2 embarcaciones, 4 vehículos equipados con tracción a las cuatro ruedas para apoyo de la operativa y transporte de los amarradores, y equipamientos diversos (emisoras, unidades de VHF, ordenadores, software de gestión, material de oficina...).

Se supone que todo ello es de nueva adquisición, con una inversión aproximada de 445.000 € y unos periodos de amortización de acuerdo con el Real Decreto 537/1997 de

14 de abril de 1997 Reglamento del impuesto de sociedades, que son de 10 años para los vehículos, 12 años para las embarcaciones y 5 años para los equipamientos.

La dotación anual dedicada a amortizaciones, en las condiciones descritas anteriormente, es de 42.000 €

Tabla 36. Amortizaciones.

EQUIPOS	Nº	VALOR/U	TOTAL	PERIODO	AMORTIZACIÓN ANUAL
VEHICULOS 4X4	4	30.000	120.000	10	12.000 €
EMBARCACIONES	2	150.000	300.000	12	25.000 €
EQUIPAMIENTOS	1	25.000	25.000	5	5.000 €
					42.000 €

Fuente: Elaboración propia.

7.2.1.3.- Costes de mantenimiento y otros gastos de operación

Se han estimado unos costes de mantenimiento como un porcentaje de la inversión. Concretamente, un 8% para los vehículos y un 10% para las embarcaciones y equipos. Este capítulo se cuantifica en un total de 42.100 € anuales.

Tabla 37 Costes de Mantenimiento.

EQUPOS	Nº	VALOR/U	TOTAL	%	TOTAL
VEHICULOS 4X4	4	30.000	120.000	8	9.600,00 €
EMBARCACIONES	2	150.000	300.000	10	30.000,00 €
EQUIPAMIENTOS	1	25.000	25.000	10	2.500,00 €
					42.100,00 €

Fuente: Elaboración propia.

Otros gastos de operación significativos son el consumo de combustible que se ha estimado teniendo en cuenta el número de operaciones y recorridos medios por operación (en el caso de los vehículos) o una duración media de la operación (en el caso de las embarcaciones), además de consumos medios y coste del combustible. Se añade una cantidad estimada de 8.000 € anuales en concepto de gastos varios de operación y el total aproximado es de 43.742,50 €

Tabla 38. Otros costes de operación.

	OPERACIONES	KMM/HORA	CONSUMO	€/LITRO	TOTAL
VEHICULOS 4X4	12.550,00	6,00	0,15	1,50	16.942,50 €
EMBARCACIONES	7.520,00	0,50	10,00	0,50	18.800,00 €
VARIOS					8.000,00 €
					43.742,50 €

Fuente: Elaboración propia.

7.2.1.4.- Otros Costes

En este apartado se han incluido otros costes menores como gastos financieros, seguros, suministros, cánones y tributos y un apartado de varios. El total estimado supone aproximadamente 41.571,51 €

Tabla 39. Otros costes.

GASTOS FIANCIEROS	12.383,00 €
SEGUROS	8.845,00 €
SUMINISTROS	7.960,50 €
CÁNONES Y TRIBUTOS	7.076,00 €
VARIOS	5.307,00 €
	41.571,51 €

Fuente: Elaboración propia.

7.2.2.- Costes totales

La suma de todos los componentes se estima en 611.654,01€ anuales.

Tabla 40. Costes totales.

LABORALES	442.240
AMORTIZACIONES	42.000 €
MANTENIMIENTO	42.100,00 €
OPERACIÓN	43.742,50 €
OTROS	41.571,51 €
TOTAL	611.654,01 €

Fuente: Elaboración propia.

7.3.- Tarifas, gastos e ingresos

7.3.1.- Tarifas

Tarifas máximas 2013 del servicio de amarre y desamarre en el Puerto de Santander

Se aplicarán en función de las unidades de arqueo (GT) del buque*, del atraque y de su tipología.

Tabla 41. Tarifa de los amarradores 2013.

BUQUE GT	TARIFA BASE EUROS				
	GENERAL				
				FERRY, CRUCERO, RORO	
				DUQUES DE ALBA	
			RIA DE ASTILLERO		
HASTA 10.000	0,01080	+74,00	0,80	1,75	1,35
MAS DE 10.000	0,00680	+113,00	0,80	1,75	1,35

 Fuente: <http://www.puertasantander.es>

El número de amarras incluido en la tarifa general está limitado a un máximo de SEIS:

- A efectos de aplicación de la tarifa máxima, se considera lo mismo un servicio portuario de amarre que un servicio portuario de desamarre.
- La enmendada de menos de una eslora del buque tendrá la consideración, a efectos de tarifa, de un servicio portuario de amarre, con los recargos autorizados correspondientes a las condiciones del nuevo amarre. Cuando la enmendada suponga una eslora o más, se considerará, a efectos de tarifa y recargos autorizados, equivalente a un servicio portuario de amarre más un servicio portuario de desamarre.

En caso de discrepancia entre las partes en la interpretación de los conceptos tarifarios que deban aplicarse, o en su cuantía, será la Autoridad Portuaria quien resuelva sobre la misma.

Recargos autorizados sobre la tarifa máxima:

- Por cada amarra de refuerzo sobre las seis (6) amarras ordinarias, tanto en el amarre como en el desamarre, el 10%.
- Por cada cable metálico o calabrote que se utilice en el amarre, desamarre o enmendada del buque, el 10%.
- Por cada hora completa de demora en el inicio del servicio sobre el horario solicitado, imputable al buque, el 20%.

No podrá aplicarse ninguna otra clase de recargos, ni coeficientes de mayoración por servicio nocturno, extraordinario, festivo, suministro de cabos, ni por ningún otro concepto diferente de los que se recogen en la estructura tarifaria. Tampoco por la operación de “primer cabo a tierra” desde una embarcación.

(*) Para la aplicación de tarifas se considerará el Arqueo (GT) fijado para la Autoridad Portuaria de Santander, teniendo en cuenta el Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques de Londres.

Ejemplo 1 de aplicación de la tarifa:

Buque de GT= 10.471 y que atracará en el muelle de Albareda y es un RORO.

Se calcula de la siguiente forma: $((10471 * 0,00680) + 113) * 0.8$

Tabla 42. Cálculo, ejemplo 1.

AMARRADORES	ENTRADA	147,36	1	1	147,36
	SALIDA	147,36	1	1	147,36
	REFUERZOS	18,42	6	6	221,04
	Horas de retraso/ espera (20%)	36,84	0	1	0,00
	TOTAL AMARRADORES				515,76

Fuente: Elaboración propia.

Ejemplo 2 de aplicación de la tarifa:

Buque de GT= 62.500 y que atracará en el muelle de Raos 8, los buques que se consideran RORO son los que en el certificado de clase tienen esa condición, pero en este tipo no están incluidos todos los buques de mercancía rodada solo los Car-Carrier.

Tabla 43. Cálculo, ejemplo 2. Buque no RORO.

AMARRADORES	ENTRADA	538,00	1	1	538,00
	SALIDA	538,00	1	1	538,00
	REFUERZOS	53,80	6	6	645,60
	Horas de retraso/ espera (20%)	107,60	0	1	0,00
	TOTAL AMARRADORES				1.721,60

Fuente: Elaboración propia

Ejemplo 3 de aplicación de la tarifa:

Buque de GT= 62.500 y que atracará en el muelle de Raos 8 y es un Car-Carrier.

Tabla 44. Cálculo, ejemplo 3. Buque RORO

AMARRADORES	ENTRADA	430,40	1	1	430,40
	SALIDA	430,40	1	1	430,40
	REFUERZOS	43,04	6	6	516,48
	Horas de retraso/ espera (20%)	86,08	0	1	0,00
	TOTAL AMARRADORES				1.376,48

Fuente: Elaboración propia.

7.3.2.- Ingresos y gastos

La suma de los ingresos del servicio de amarradores durante los años 2013 y 2014 totales derivados de aplicar la tarifa máxima propuesta son aproximadamente unos 1.223.308 € sin contar con los incrementos por el uso de más cabos (uso que suele ser habitual), se han calculado los ingresos teniendo en cuenta las escalas realizadas por todos los buques en el puerto de Santander durante el año 2013 Y 2014.

Tabla 45. Beneficios por el servicio de amarradores durante 2013 y 2014.

AÑO	COSTES	INGRESOS	BENEFICIOS
2013	611.654 €	615.464 €	3.810 €
2014	611.654 €	734.111 €	122.457 €
2013+2014	1.223.308 €	1.349.575 €	126.267 €

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de <http://www.puertosantander.es>

Tabla 46. Beneficios por meses del servicio de amarradores durante 2013.

2013	ESCALASTOTALES	ESCALAS RAOS 8	GT TOTAL Toneladas	GT RAOS 8 Toneladas
ENERO	95	17	1.080.431	572.504
FEBRERO	102	27	1.561.966	765.418
MARZO	121	32	1.939.436	870.836
ABRIL	114	30	1.817.914	791.687
MAYO	135	36	2.103.058	952.110
JUNIO	114	30	1.875.233	913.316
JULIO	124	31	1.955.883	840.789
AGOSTO	104	16	1.639.666	504.466
SEPTIEMBRE	142	30	2.120.383	857.178
OCTUBRE	129	35	1.901.437	914.970
NOVIEMBRE	135	34	2.182.855	936.975
DICIEMBRE	101	21	1.609.437	708.844
	1416	339	21.787.699	9.629.093

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de <http://www.puertosantander.es>

Tabla 47. Tabla de beneficios por meses del servicio de amarradores durante 2014.

2014	ESCALAS TOTALES	ESCALAS RAOS 8	GT TOTAL Toneladas	GT RAOS 8 Toneladas
ENERO	100	22	1.465.264	668.618
FEBRERO	101	30	1.764.222	850.158
MARZO	139	38	2.540.132	1.173.768
ABRIL	135	31	2.399.688	1.049.660
MAYO	141	38	2.862.734	1.425.774
JUNIO	116	28	2.282.493	979.839
JULIO	130	32	2.440.702	1.111.940
AGOSTO	139	24	2.456.961	1.015.664
SEPTIEMBRE	128	33	2.561.219	1.175.277
OCTUBRE	126	37	2.457.791	1.370.249
NOVIEMBRE	114	30	2.197.435	1.043.516
DICIEMBRE	121	38	2.269.824	1.490.940
	1490	381	27.698.465	13.355.403

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de <http://www.puertosantander.es>

Como se puede comprobar en el año 2013 los beneficios han sido bastante inferiores a los de 2014, eso es debido al incremento del número de buques y de su GT que han escalado en el puerto de Santander en el año 2014.

Se han desglosado los ingresos en tres partes:

1.- Los producidos por los buques que han atracado en Raos 8 (muelle donde se quiere implementar el nuevo sistema de amarre automático)

2.- Los producidos por los buques que han atracado en el resto de muelles.

3.- La suma de los dos.

Por lo tanto el margen sobre los costes de presentación estimados en el apartado anterior (unos 611.654,01 € anuales, suponiendo un único prestador) sería de 3.810 € que es un 0,62 % aproximadamente. Este se considera suficiente para garantizar la viabilidad del servicio.

En la siguiente Tabla están representados los ingresos, número de barcos y GT del tráfico del puerto de Santander en el 2014. Esta desglosado en tres: Tráfico total, buques que han atracado en Raos 8 y buques que han atracado en el resto de muelles.

De aquí podemos deducir que si se hubiese instalado el sistema de amarre automático en el 2014 y no lo explotasen los amarradores dejarían de ingresar el 39% en concepto de tarifas básicas y no cubrirían gastos.

Tabla 48 Resumen de ingresos derivadas de las tarifas del año 2013.

2013	INGRESOS	RAOS 8	RESTO	% RAOS 8	ESCALAS	ESCALAS RAOS	GT TOTAL	GT RAOS 8
ENERO	35.577 €	14.218 €	21.359 €	40%	95	17	1.080.431	572.504
FEBRERO	44.322 €	19.135 €	25.186 €	43%	102	27	1.561.966	765.418
MARZO	54.407 €	22.730 €	31.677 €	42%	121	32	1.939.436	870.836
ABRIL	50.724 €	20.772 €	29.952 €	41%	114	30	1.817.914	791.687
MAYO	58.398 €	23.426 €	34.972 €	40%	135	36	2.103.058	952.110
JUNIO	51.133 €	21.182 €	29.951 €	41%	114	30	1.875.233	913.316
JULIO	55.114 €	22.162 €	32.952 €	40%	124	31	1.955.883	840.789
AGOSTO	45.724 €	12.578 €	33.146 €	28%	104	16	1.639.666	504.466
SEPTIEMBRE	59.882 €	21.437 €	38.445 €	36%	142	30	2.120.383	857.178
OCTUBRE	53.623 €	21.078 €	32.546 €	39%	129	35	1.901.437	914.970
NOVIEMBRE	61.069 €	23.390 €	37.680 €	38%	135	34	2.182.855	936.975
DICIEMBRE	45.491 €	17.756 €	27.734 €	39%	101	21	1.609.437	708.844
					1416	339	21.787.699	9.629.093
COSTES	INGRESOS							
611.654 €	615.464 €	239.863 €	375.601 €	39%				

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de <http://www.puertasantander.es>

En el Gráfico 4 se representan los porcentajes del ingreso mensual de los amarradores del puerto de Santander, debido a las tarifas básicas de amarre, de todos los barcos buques que han atracado en el 2013.

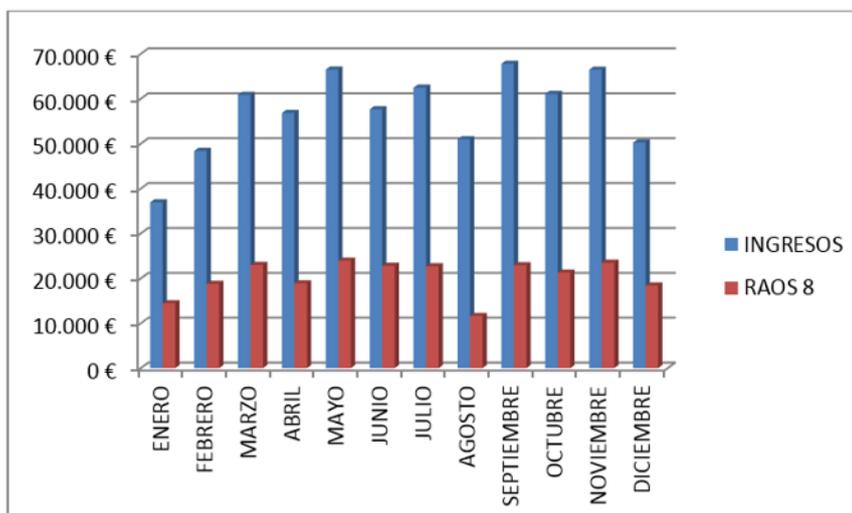
Gráfico 4. Ingresos de los Amarradores por meses año 2013.



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de <http://www.puertosantander.es>

En siguiente el los ingreso mensual de los amarradores del puerto de Santander, debido a las tarifas básicas de amarre, pero desglosado en dos cantidades, en rojo son los ingresos debido a los buques que han escalado en Raos 8 y en azul el del total de buques que han atracado en el 2013.

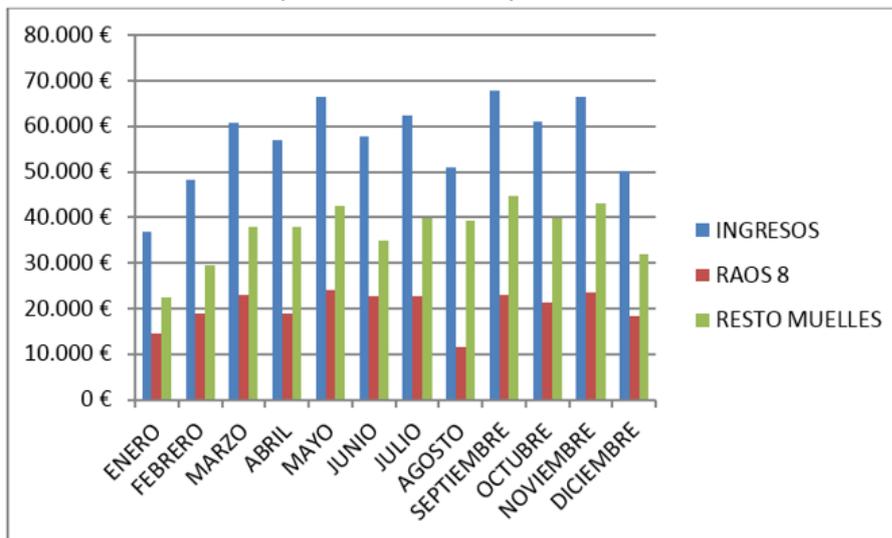
Gráfico 5. Ingresos desglosados del servicio de amarradores en 2013.



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de <http://www.puertosantander.es>

En siguiente el los ingreso mensual de los amarradores del puerto de Santander, debido a las tarifas básicas de amarre, pero desglosado en tres cantidades, en rojo son los ingresos debido a los buques que han escalado en Raos 8, en amarillo del tráfico del resto de muelles y en azul el del total de buques que han atracado en el 2013.

Gráfico 6. Suma de los Gráficos anteriores.



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de <http://www.puertosantander.es>

En la tabla siguiente están representados los ingresos, número de barcos y GT del tráfico del puerto de Santander en el 2014. Esta desglosado en tres: Tráfico total, buques que han atracado en Raos 8 y buques que han atracado en el resto de muelles.

De aquí podemos deducir que si se hubiese instalado el sistema de amarre automático en el 2014 y no lo explotasen los amarradores dejarían de ingresar el 43% en concepto de tarifas básicas no cubrirían gastos.

Tabla 49. Resumen de ingresos derivadas de las tarifas del año 2014.

2014	INGRESOS	RAOS 8	RESTO	%RAOS 8	ESCALAS	ESCALAS RAOS 8	GT TOTAL	GT RAOS 8
ENERO	44.237,29	16.736,18	27.501,11	38%	100	22	1.465.264	668.618
FEBRERO	48.188,05	21.795,11	26.392,93	45%	101	30	1.764.222	850.158
MARZO	69.271,36	32.482,24	36.789,13	47%	139	38	2.540.132	1.173.768
ABRIL	63.426,75	24.586,22	38.840,53	39%	135	31	2.399.688	1.049.660
MAYO	74.115,85	34.068,99	40.046,86	46%	141	38	2.862.734	1.425.774
JUNIO	58.203,20	23.109,27	35.093,93	40%	116	28	2.282.493	979.839
JULIO	63.365,03	26.448,96	36.916,08	42%	130	32	2.440.702	1.111.940
AGOSTO	66.961,89	24.144,32	42.817,58	36%	139	24	2.456.961	1.015.664
SEPTIEMBRE	64.031,68	26.657,02	37.374,66	42%	128	33	2.561.219	1.175.277
OCTUBRE	63.933,87	31.795,30	32.138,57	50%	126	37	2.457.791	1.370.249
NOVIEMBRE	57.441,65	24.930,83	32.510,82	43%	114	30	2.197.435	1.043.516
DICIEMBRE	60.934,55	34.839,95	26.094,60	57%	121	38	2.269.824	1.490.940
					1490	381	27.698.465	13.355.403
COSTES	INGRESOS							
611.654 €	734.111 €	321.594 €	412.516,79	44%				
1.223.308 €	1.349.575 €	126.267		9%				
	Beneficios	122.457 €		17%				

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de <http://www.puertosantander.es>

PARTE IV:
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO 8.- DISEÑO Y RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

8.1.- Determinación de las variables climatológicas en los escenarios de simulación.

Los vientos predominantes en el puerto de Santander en invierno son los del S, del W y del NW. El S mantiene clara la atmósfera en los primeros días de su entrada, y es mirado por los navegantes como precursor del NW. Empieza a reinar en octubre y finaliza en febrero. Cuando el S acarrea aguas y nubes, rola pronto al SW, pasa rápidamente al W acompañado de cerrazón casi siempre y con el NW duro con gran marejada y fuertes chubascos.

Con el NW, se experimentan claras entre chubasco y chubasco que permiten a los navegantes reconocer los puntos de la costa y rectificar su situación.

Los vientos del S son los más violentos (más de 55 nudos) y que más marejada levantan en la bahía, dificultando, y a veces imposibilitando, la navegación de embarcaciones menores y la maniobra con grandes buques mercantes. Son relativamente frecuentes, especialmente a principios de otoño y durante la primavera (llamados mayeros) sintiéndose también en invierno y rara vez en verano.

Los grandes temporales empiezan generalmente por el S muy duro, que suele ser tanto más fuerte como más claro sopla. Cuando oscurece el cielo ya debe esperarse el NW, acompañado de chubascos.

Si el NW salta al N o NNE, se convierte en travesía temible, porque no deja rebasadero a los barcos, al propio tiempo que les cierra todos los puertos.

Si después de dos o tres días de N, retrocede el viento al NW y W, se recrudece el temporal de aquella parte, pero si rolara al NE se asienta el tiempo y suelen venir algunos días buenos. Si después de una collada de NE, rola el viento al SE y luego al S debe esperarse mal tiempo otra vez.

Durante el verano predominan los vientos del primer cuadrante, que sobre la costa llaman más afuera durante el día y a la tierra durante la noche.

En otoño suele haber el llamado temporal de buen tiempo, y sobre todo después del cambio de tiempo que trae el equinoccio. (Prasad et al., 2009)

La primavera es una continuación del invierno casi siempre, durante la cual predominan los vendavales (SW), sino con tanta fuerza de viento sí con más abundancia de lluvia al menos.

La presión atmosférica sube con los vientos del NE, E, NW y N y baja con los vientos del S, SW, SE y W

La meteorología en Raos 8:

Cuando el viento es superior a 50 nudos, es necesario el uso de remolcadores para poder aguantar al buque amarrado. En el año 2014 ha habido rachas de viento superiores a los 67 nudos.

La dirección del muelle de atraque es 095.3°, por lo tanto los vientos que tienen componente Sur que son los racheados y los del SW que son los más fuertes son los que más le afectan al buque atracado en Raos 8.

Los vientos que afectan a los buques atracados en el muelle de Raos son:

SW entre 35 y 50 nudos, sin rachas.

S entre 45 y 60 nudos, con rachas de +/- 10 nudos en la misma dirección.

W y NW entre 15 y 45 nudos, sin rachas, pero estos últimos nos acolchan el buque contra el muelle, por eso durante su estancia atracado no hay problemas.

La meteorología en Raos 9:

La dirección de este muelle es N-S, por lo tanto en este atraque los vientos que más le afectarán serán los W puesto que le dan de través. Cuando el viento es superior a 50 nudos será necesario el uso de remolcadores para poder aguantar a los buques amarrados. También le afectarán, pero en menor medida, los vientos de componente SW.

Teniendo en cuenta lo anterior y los cálculos realizados para conocer cuáles son las direcciones de viento más perjudiciales en estos muelles para el barco seleccionado, las simulaciones de maniobras las realizaremos con las siguientes condiciones:

- SW con velocidades 35, 45 y 50 nudos.
- S con velocidades de 45, 50 y 60 con rachas de más/menos 10 nudos.
- W con velocidades de 35, 45 y 50 nudos.

8.2.- Referencia de maniobra real. Procedimiento de una maniobra real realizada por un tipo de buque similar al utilizado en la simulación.

En éste apartado se describe una maniobra real realizada por un práctico del puerto de Santander. La maniobra es completa desde embarque de práctico hasta el atraque del buque “Parsifal” de la empresa Wallenius Wilhelmsen en el muelle de Raos 8,

Teniendo en cuenta que son maniobras realizadas regularmente y que el estudio de las mismas ya se realizó en su momento por la corporación de prácticos, no vemos la necesidad de hacer maniobras de este tipo en el simulador, pero si creemos de interés la inclusión en esta tesis de una de ellas para que sirva como ejemplo de una maniobra real.

Ilustración 105. Buque "Parsifal" de la compañía Wallenius Wilhelmsen.



Fuente: <http://www.2wglobal.com/>

El buque es de las mismas dimensiones que el buque utilizado para la realización de las simulaciones y es el buque que ha utilizado la empresa suministradora del sistema de amarre automático para dimensionarlo.

El buque con el que se realizó esta maniobra es el buque PARSIFAL ya descrito en la página 154.

ETA el día 29 de abril de 2014 a la 06:00 horas.

Practico a bordo a las 06:00

Primer cabo: 07:00

Todo firme: 07:20

Desembarca a las 07:20

Viento del SW fuerza 6, vientos hasta 28 nudos.

Mareas para ese día:

Pleamar	Coficiente	Bajamar	Coficiente
05:17	94	11:20	94
17:36	92	23:45	92

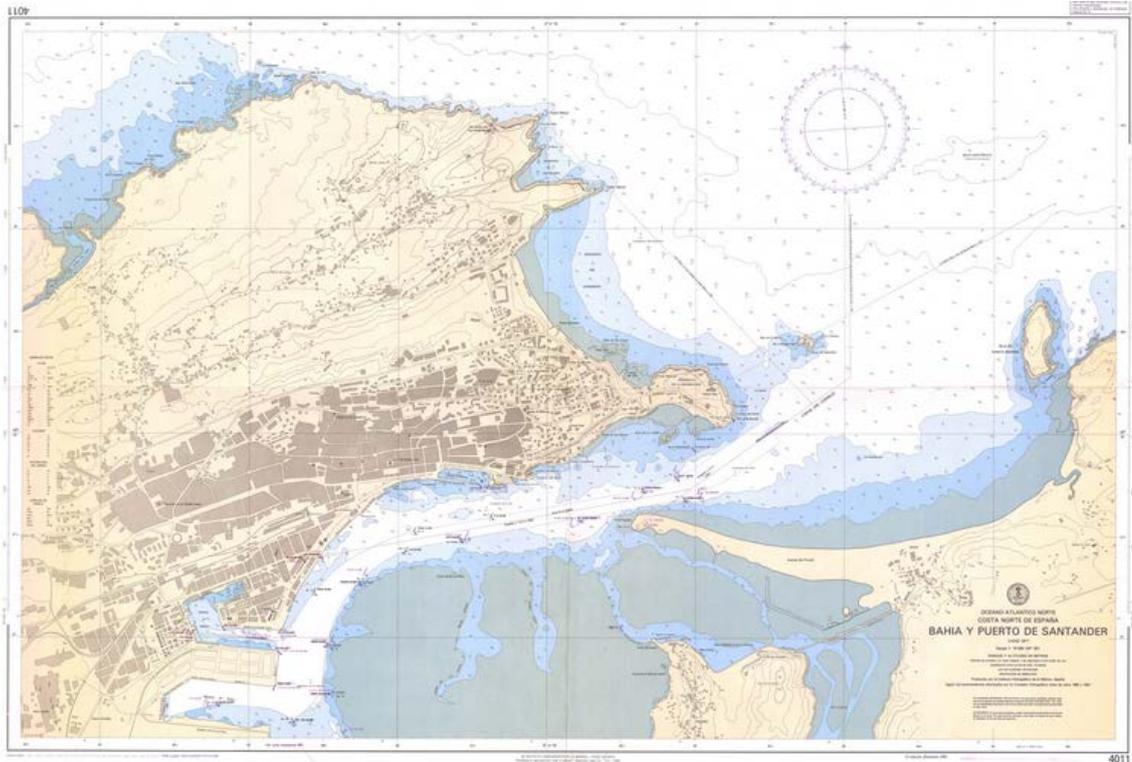
SERVICIO REQUERIDO E INFORMACION SOLICITADA

Entrada y atraque estribor al muelle en RAOS 8 W, con la proa al noray 12,3 y popa al 4.

INFORMACION SOLITADA

- a) Calado máximo permitido y calado en el muelle de RAOS 8 en bajamar.
- b) Tiempo de antelación con que el Capitán del buque debe contactar con SPC y la estación de prácticos, canales de VHF de trabajo y distancia a la estación de prácticos.
- c) Lugar y hora del inicio de la maniobra, lugar de embarque de práctico, velocidad costado por el que se ha de colocar la escala, etc.
- d) Una vez embarcado el práctico instrucciones al capitán del buque, velocidad y procedimientos durante la navegación y toma de remolques, hasta el muelle de RAOS nº 8. Descripción de enfilaciones, boyas y señales marítimas, color y características hasta llegar al muelle.
- e) Remolcadores a utilizar y características de los mismos.
- f) Maniobras de reviro y atraque. Velocidades y órdenes a la máquina y remolcadores, así como posicionamiento de los mismos. Se pide hacer croquis de maniobra de reviro y maniobra de acceso al muelle y atraque, indicando velocidades, órdenes a la máquina y actuación de remolcadores.
- g) Maniobras de cabos una vez en el muelle y número de cabos para dejar el buque amarrado. Marcas, boyas y señales y otras ayudas a la navegación y sus características, que se encuentran La Comba Baliza nº 14 del balizamiento del puerto de Santander.

Ilustración 106. Carta náutica de Santander



Fuente: <http://www.puertasantander.es>

INFORMACION FACILITADA POR LA CORPORACION DE PRACTICOS

Muelle de RAOS nº 8 es un muelle de 820 m. de longitud dividido en dos por una rampa doble y con 13 m. de calado en bajamar y orientado al 276° verdadero, tiene 31 norays separados 30 m. cada uno contando a partir de RAOS 7 y dotado de unas buenas defensas. El calado máximo de entrada al puerto de Santander es de 42' 00" (12,80 metros).

Dado que la maniobra de acceso se ha de efectuar coordinando ésta con Prácticos de Santander a través del SPC (Santander Port Control), el Capitán deberá contactar al menos dos horas antes de la llegada por el canal 11 de VHF.

Media hora antes de la llegada el capitán informará por el canal 14 de VHF de su ETA (30 minutos), el práctico indicará la velocidad requerida para el embarque (unos 8 nudos) embarcará entre a una milla o dos al norte de la Isla de Mouro, para ir verificando las características de buque y pericia de su tripulación. Se ha de pedir la escala por el costado de sotavento y a un metro del nivel del mar.

Ilustración 107. Puerto de Santander, Muelle Raos 8.



Fuente: <http://www.puertasantander.es>

Los remolcadores habrán sido avisados previamente por el SPC y estarán listos esperando cerca de las primeras boyas (VEHINTISIETE de 91 tons. de bollard pull y CLARA G de 75 tons. de bollard pull).

El SPC avisará asimismo a los amarradores, precisándose dos equipos de dos personas y los vehículos correspondientes.

Una vez embarcado el práctico se procede a la entrada a puerto con media máquina avante (unos 10 nudos), haciendo la recalada con las marcas conocidas como el Monte Cudío (pico de Solares) y La Mina, cuya enfilación da una demora de 179° verdaderos en horas diurnas y se pasará la Isla de Mouro dándole un resguardo de no menos de 2 cables. Antes de amanecer no se pueden ver las marcas del monte Cudío y La Mina, pero si una luz roja correspondiente al centro del Banco de Santander en el pico de Solares que puede ser una buena referencia aunque no se encuentre cartografiada.

Se tendrá durante este tiempo un briefing con el capitán indicándole las previsiones que se tienen para maniobrar, remolcadores a tomar y cuando, velocidades, punto de reviro y cualquier otra incidencia que esté relacionada con la maniobra. Así mismo se obtendrá o del capitán el "Pilot's Card" y cualquier otra información que se considere de interés. Velocidad del buque en cada posición del telégrafo, mínima velocidad de gobierno, mínima velocidad, tiempo de parada, tiempo de respuesta de máquina avante a máquina atrás, etc.

Se continúa a la velocidad de embarque unos 8 a 9 nudos y al aparecer la Isla de la Horadada por el costado de estribor por la Punta del Puerto, se comienza a caer a estribor en demanda de la enfilación de entrada del Puntal cuya demora es el 235° verdadero.

Con viento sur conviene ir un poco más al sur haciendo en principio un rumbo más hacia la boya n° 2, 225° y después se irá corrigiendo en base al efecto que produzca el viento en el buque.

Una vez enfiladas las boyas n° 1 y n° 3, se va cayendo al 245° V. y buscando la boya n° 4 hasta que veamos la segunda enfilación o luz tricolor de centro de canal que nos permitirá ir cayendo al 255° V. y posteriormente al 259° V. que se corregirá a babor si el viento nos tira a estribor.

Se van tomando los remolques a proa y popa en las primeras boyas dando cabos de los remolcadores a proa el Clara G y a Popa el “Veintisiete”, ambos por el centro con cabos suyos, los remolcadores no pueden trabajar por encima de los 10 nudos, por lo que iremos manteniendo los 8/9 nudos y bajando la velocidad dando poca avante entre las boyas n° 3 y n° 4, a la altura de la boya n° 6 se pondrá muy poca avante, para poder llegar a la boya n° 10 a unos 5 a 6 nudos.

Pasada la boya n° 10 se para la máquina y se va gobernando con el timón hasta que sea imposible, momento en que se hará uso de la hélice de proa y/o de los remolcadores que irán llevando la proa hacia donde queramos y el de popa iniciará la parada o reviro del buque una vez que se está dando atrás y se le indique.

La aproximación a la dársena de RAOS se hace quedando más cerca de la margen derecha de la canal (hacia RAOS 4 a barlovento) ya que el reviro se hace cayendo a babor y pasando la popa del buque por RAOS 4. Hay que tener en cuenta que la marea vaciante y el viento del SW empuja hacia el norte, por lo que se rebasa la medianía de la bocana de la dársena.

Durante la maniobra de reviro conviene que el buque tenga cierta arrancada avante, pero nunca más de 3 nudos y una vez libre la popa de la esquina de RAOS 3 con RAOS 4, se da máquina atrás poca y se va gobernando el buque con los remolcadores (principalmente con el de proa). Es una muy buena referencia durante el reviro para comprobar si el buque avante, ha perdido la arrancada o va atrás, la referencia de las boyas verdes de la ría de Astillero, así como el silo de ALFA con las luces o elementos fijos que quedan por detrás.

Una vez el buque tenga arrancada atrás se reducirá la máquina al mínimo procediendo a una velocidad atrás de 2 a 3 nudos. Se va corrigiendo el rumbo siempre en base a ir más cerca de RAOS 8 con la popa al viento y teniendo en cuenta que el viento nos abre del muelle.

La aproximación final con arrancada atrás se hará con la máquina ya parada para en caso necesario dar adelante y quitar toda la arrancada.

Es habitual que una vez parada la máquina se ordena el cambio de los remolcadores en las proximidades del muelle se colocan los dos remolcadores por fuera trabajando de carnero y con retenida (Empuja/Tira), es aconsejable meter todo el timón a babor mientras se coloca el de popa en posición ya que a la vez que quitamos la arrancada vamos llevando la popa al muelle contra restando el efecto del viento de tierra.

Una vez los remolcadores en posición de trabajo, se pone le timón a la vía y se va dando máquina adelante o atrás según convenga para ir al lugar asignado de atraque. La referencia para la posición se toma de la distancia del alerón a la proa y así se coloca el puente a la altura correspondiente.

En cuanto el buque se encuentra a tiro de sirga, se dan los esprines proa/popa de dos en dos y una vez el buque acolchado en defensas con los dos remolcadores apoyados, se completa el amarre con 4 largos a proa y a popa.

Texto del Gráfico de maniobra.-

Posición (1) Firmes remolcadores proa y popa por el centro con cabos de los remolcadores. “CLARA G” a proa y “VEHINTISIETE” a popa. Buque a unos 5 a 6 nudos adelante con máquina parada. Entre 1 y 2 se dará atrás poca y luego medía hasta quedar con unos 3 nudos de arrancada adelante, parando entonces la máquina. Si proa cae mucho hacia RAOS 3/4 habrá que corregir con la hélice de proa y si hace falta aguantando con el remolcador de proa por fuera y en de popa por el noroeste.

Posición (2) dejándole ir y llevándolo a una posición paralela a RAOS 4, con máquina parada. Se va iniciando el reviro a babor controlando la velocidad y caída de la popa para que pase libre de RAOS 4. Iremos ayudando con hélice de proa a babor, pero quedándonos al sur del eje de la dársena, siempre iremos buscando barlovento.

Posición (3) Continuamos con el reviro cuando la popa pase la esquina de RAOS 3 con RAOS 4 daremos poca atrás. El remolcador de popa ira siempre tirando al sur y con la

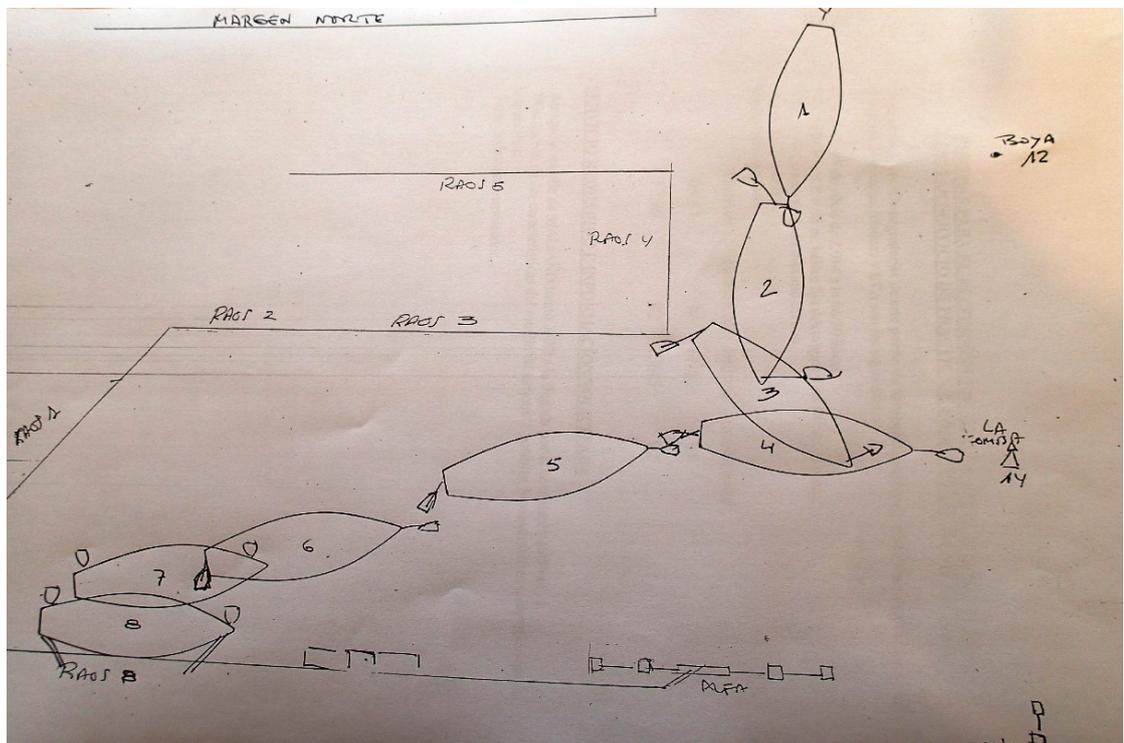
hélice de proa y/o con el de proa vamos haciendo un rumbo con tendencia al viento (al WSW)

Ilustración 108. Maniobra de Atrake del "Parsifal".



Fuente: Elaboración propia, basado en Google Earth.

Ilustración 109. Esquema de la maniobra de atraque del Parsifal.



Fuente: Esquema realizado por el Práctico del puerto de Santander durante la realización de la maniobra

Posición (4) Se va haciendo una velocidad de unos 3 a 4 nudos hasta llegar a la rampa doble de RAOS 8.

Posición (5) Se para la máquina y se manda a los remolcadores que se coloquen por fuera. Se va llevando el buque siempre al muelle acercando la popa algo más que la proa.

Posición (6) Damos avante poca con todo babor mientras el remolcador de popa se posiciona y cuando esté en posición el timón a la vía, empujando los dos al muelle y la hélice de proa, según convenga. Una vez quitada la arrancada atrás se para.

Posición (7/8) Damos esprines al muelle y una vez en defensas los remolcadores empujan para que no abra y completamos el amarre con 4 largos y dos esprines proa y popa.

8.3.- Cabos utilizados a bordo del Buque seleccionado.

Los cabos utilizados por el buque con el que se van a realizar las maniobras en el simulador y que es habitual en el puerto de Santander, son cabos trenzados de 8 cordones, de poliéster y de alta tenacidad “Superflex”, que tienen una resistencia superior.

Las características las hemos obtenido de la página Web de Bezabala, que es un suministrador de material náutico.

Ilustración 110. Rollo de cabo utilizado en los buques de Wallenius.

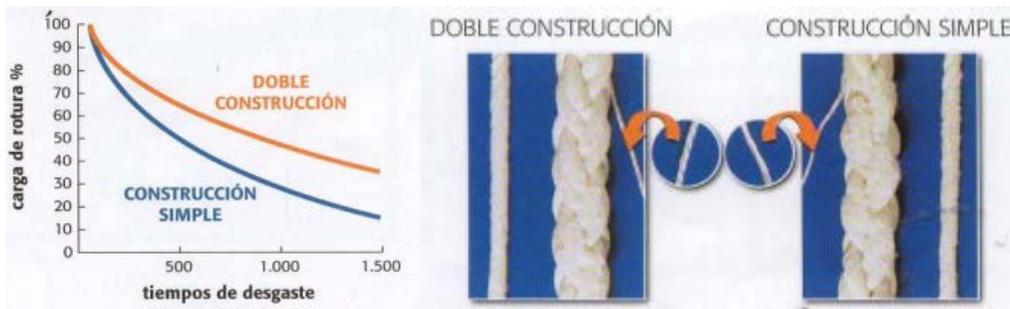


Fuente: <http://www.bezabala.es>

Esta composición y construcción produce un cabo con una elongación extremadamente baja mientras mantiene la estabilidad y la seguridad cuando las estachas están sobrecargadas. Además este cabo mantiene sus propiedades incluso tras largo tiempo bajo el agua. Posee una estabilización ultra-violeta excelente.

Además de su estructura de doble construcción e las fibras exteriores propina mayor resistencia a la abrasión comparándolo con estachas de construcción convencional.

Gráfico 7. Diferencia entre un cabo de doble construcción y otro simple.



Fuente: <http://www.bezabala.es>

Teniendo en cuenta que el peso muerto del buque de referencia es de unas 50.000 toneladas el diámetro de estachas que utilizan de Superflex es de 64 milímetros.

Tabla 50. Relación entre los tipos de buques con el peso muerto y el diámetro de las estachas.

Pasajeros, ro-ro Car, container carriers	Superflex dia. (mm)	Polysteel dia. (mm)	Polipropileno dia. (mm)	Nylon dia. (mm)	Cable acero 6x(W5)36+IWRC	Super max
	(circ/in)	(circ/in)	(circ/in)	(circ/in)	dia (mm)	dia (mm)
5,000t. dw.	48(6")	52(6-1/2")	56(7")	48(6")	26	20
12,000t. dw.	52(6-1/2")	56(7")	60(7-1/2")	52(6-1/2")	28	22
25,000t. dw.	56(7")	60(7-1/2")	64(8")	56(7")	30	24
40,000t. dw.	60(7-1/2")	64(8")	72(9")	60(7-1/2")	32	26
80,000t. dw.	64(8")	68(8-1/2")	76(9-1/2")	64(8")	36	28

Fuente: <http://www.bezabala.es>

En la siguiente Tabla podemos ver que la carga de rotura es de unas 79 toneladas.

Tabla 51. Relación el diámetro y la carga de rotura.

Dia	Cír	Peso	Carga de rotura	
			Kg	kN
mm	in	Kg 100 m	Kg	kN
40	5	91,5	32.000	313,9
44	5 1/2	109,0	38.000	372,8
48	6	132,0	44.000	431,6
52	6 1/2	150,0	51.000	500,3
56	7	179,0	59.000	578,8
60	7 1/2	200,5	67.000	657,3
64	8	226,0	75.000	735,8
68	8 1/2	254,0	84.000	824,0
72	9	284,0	94.000	922,1
80	10	349,0	114.000	1.118,3
88	11	420,0	138.000	1.353,8
96	12	500,0	163.000	1.599,0
104	13	583,0	191.000	1.872,0
112	14	674,0	221.000	2.168,0

Fuente: <http://www.bezabala.es>

8.4.- Procedimiento seguido en los escenarios de simulación

Se realizará un estudio comparativo del comportamiento del buque amarrado en los dos escenarios o muelles en los que se realizará el estudio: Escenario I = Raos 8 y Escenario II = Raos 9.

Procedimiento para la realización de las maniobras.

Para el estudio de viabilidad técnica de la implantación del sistema de amarre automático en los dos escenarios, se planteó la siguiente estrategia de maniobras en el simulador en tiempo real.

Las simulaciones que se plantean parten del buque atracado en tres supuestos diferentes, con diferentes condiciones meteorológicas, diferentes direcciones e intensidades de viento. (Thoresen, 2014; Yamase and Ueda, 2007; Zendrera, 1994)

Cuando se realizaron los cálculos de los vientos más desfavorables para nuestro buque en los atraques seleccionados, el resultado fue que en Raos 8 y los vientos más desfavorables son el Sur y el SW y en Raos 9 el Oeste y el SW. En el puerto de Santander como también se ha visto anteriormente los vientos más frecuentes son de esas mismas direcciones, por lo tanto los vientos con los que realizaremos las simulaciones serán del Sur, SW y Oeste.

Para definir las velocidades de los vientos con los que se realizarán las simulaciones analizaremos las condiciones máximas que se recomiendan en el estudio de buques atracados en Raos 8 realizado por del CEDEX en 2004. (Atienza et al., 2004) en el que se analizó la estancia del buque atracado en el muelle con vientos del SSW de 35 nudos de intensidad media con rachas máximas de 55 nudos. Tendremos en cuenta las diferencias entre el buque con el que se realizó ese estudio y el nuestro.

Se han tenido en cuenta contenidos de las siguientes referencias: (Arrillaga-Anabitarte, 1993; Costa, 1991; Das, 2007; Paulauskas, 1998; Paulauskas et al., 2009; PIANC, 1995; Burges, 1978; Macfarlane et al., 2012; Mavrakos et al., 1996; Park et al., 2009; Sakakibara and Kubo, 2008)

En ese estudio se utilizó un buque de las siguientes características:

Tabla 52. Característica del buque utilizado por el CEDEX.

Nombre	“Fígaro”
Eslora total	198,0 m.
Eslora entre perpendiculares	190,0 m.
Manga	32,25 m.
Calado a plena carga	7,50 m.
Desplazamiento a plena carga	25.500 Tons.
Peso muerto	8.393 Tons.
Potencia instalada	13.501 KW.
Revoluciones	106 rpm.
Velocidad de servicio	20,64 nudos
Hélice de proa	1.100 KW.

Fuente: (Atienza, et al., 2004)

El buque que se utilizó en el estudio del CEDEX al igual que en el presente estudio se atracó en Raos 8 estribor al muelle. Este buque es representativo, de los buques transoceánicos de línea regular que operan en Santander.

Las conclusiones del estudio del “Cedex” son:

- Ha resultado muy difícil repartir equilibradamente las cargas entre las amarras y mantener la popa del buque pegada al muelle. Las amarras de proa experimentaron tensiones comprendidas entre el 50% y el 75% de su carga de trabajo y sin embargo las de popa entre el 80% y el 100%.
- Concluyen también que la tendencia al desequilibrio de las cargas con los vientos fuertemente racheados y lo elevado de algunas tensiones se podría reducir haciendo que las líneas trabajasen con menos verticalidad.

Tabla 53. Característica del buque utilizado en el simulador.

Nombre	“Barber Texas”
Eslora total	262,0 m.
Eslora entre perpendiculares	252,0 m.
Manga	32,26 m.
Calado a plena carga	11,7 m.
Desplazamiento a plena carga	68.360 Tons.
Peso muerto	49.326 Tons.
Potencia instalada	24.270 KW.
Revoluciones	94 rpm.
Velocidad de servicio	20,5 nudos
Hélice transversal proa	1883 KW
Hélice transversal popa	1883 KW

Fuente: Elaboración propia.

En el presente estudio se utiliza el buque “Barber Texas” que se describe en la Tabla 53, siendo este buque también representativo de los buques transoceánicos RoRo que operan en el puerto de Santander.

Teniendo en cuenta los planteamiento anteriores las condiciones de viento en las que se realizarán las simulaciones serán las que propusimos en el apartado 8.1, en Raos 8 viento del Sur y velocidades de más de 40 nudos, con rachas de 10 nudos y en Raos 9 vientos del oeste y velocidades de más de 35 nudos sin rachas. También se realizarán simulaciones en los dos muelles con vientos del SW con velocidades de más de 35 nudos.

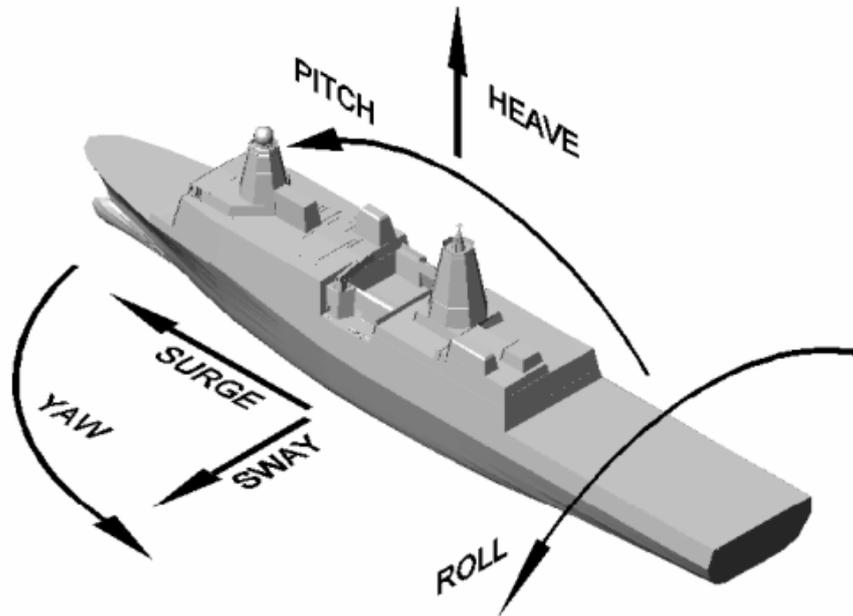
Partiendo de estas condiciones de viento se plantearon los siguientes supuestos en los dos escenarios Raos 8 y Raos 9, como se puede ver en la Tabla 54:

- **Supuesto 1:** Buque atracado sin ningún cabo firme a tierra y aplicando las distintas alternativas o condiciones de viento. Con estas maniobras se demostrará que realmente el viento afecta y desplaza al buque con distintas direcciones y velocidades dependiendo de la dirección e intensidad del viento. De este modo se probará el simulador para cada condición de viento.
- **Supuesto 2:** Buque atracado con cabos, se harán firmes los cabos que normalmente se utilizan en cada caso. Con el buque atracado se irán viendo los movimientos que sufre el buque al estar sometido a las distintas alternativas o condición de viento. Con estas maniobras se podrá ver la condición extrema de viento a partir de la cual se necesitarán de reforzar cabos, o mantener dos remolcadores empujando durante toda la operativa del buque.

En la realidad los cabos que se utilizan son 2+4 en verano y 2+2+3 en invierno, se recreará la condición de invierno por lo tanto se pondrán total 14 estachas de 40 tons cada una total 560 tons de retención. Y para facilitar los cálculos se sustituirán los 3 largos tanto de proa como de popa por uno de 120 tons de capacidad de retención, los dos traveses por uno de 80 tons y los dos esprines también por uno de 80 tons de retención.

Se monitorizarán los movimientos que sufre el buque en las diferentes condiciones.

Ilustración 111. Movimiento de los buques.



Fuente: (González, 2006)

Traslaciones:

- 1 Movimiento vertical de ascenso y descenso: **Arfada o Alteada: Heave**
- 2 Movimiento lateral a ambas bandas: **Deriva: Sway**
- 3 Movimiento longitudinal de **avance o retroceso, vaivén: Surge**

Rotaciones:

- 4 Según el eje vertical 'Z': **Guiñada de rumbo: Yaw**
- 5 Según el eje trasversal 'Y': **Cabeceo: Pitch.**
- 6 Según el eje longitudinal 'X': **Balance: Roll**

También se monitorizarán las tensiones de los cabos y de este modo podremos saber que tensión de cabos necesitamos en cada momento, para saber si necesita más de 560 tons de retención. Teniendo en cuenta que la tensión de rotura de los cabos del simulador son 500 tons por línea, es muy difícil que rompan los cabos y además la tensión va aumentando según afectan las condiciones de viento.

- **Supuesto 3:** Buque atracado con el sistema de amarre automático. Con estas maniobras trataremos de demostrar que los movimientos del buque atracado con este sistema se reducen al mínimo y que no será necesario el uso de los

remolcadores para aguantar el buque atracado en ninguna condición extrema de viento. En las maniobras que se han realizado simulando los robots de Cavotec, se han colocado 14 distribuidos a lo largo de toda la eslora del barco, cada robot de amarre se le ha adjudicado una capacidad de retención de 40 tons. Que hacen un total de 560 tons de retención, lo mismo que conseguimos con las estachas o con 10 remolcadores de 56 toneladas empujando. Cavotec nos ha dimensionado con 14 robots para vientos hasta 25 m/s unos 48 nudos.

Para cada supuesto se plantean dos alternativas que son las direcciones de viento, y cada dirección de viento tiene asociada tres opciones o intensidades de viento.

Tabla 54. Escenarios planteados.

Escenarios	Supuestos	Opción	Alterantivas	Escenarios	Supuestos	Opción	Alterantivas		
I = Raos 8	1 = Sin cabos	A = SW	a = 35	II = Raos 9	1 = Sin cabos	A = SW	a = 35		
			b = 45				b = 45		
			c = 50				c = 50		
		B = S	b = 45			C = S	a = 35		
			c = 50				b = 45		
			d = 60				c = 50		
	2 = Con Cabos	A = SW	a = 35		2 = Con Cabos	A = SW	a = 35		
			b = 45				b = 45		
			c = 50				c = 50		
		B = S	b = 45			C = W	a = 35		
			c = 50				b = 45		
			d = 60				c = 50		
		3 = Con sistema	A = SW			a = 35	3 = Con sistema	A = SW	a = 35
						b = 45			b = 45
						c = 50			c = 50
B = S	b = 45		C = W	a = 35					
	c = 50			b = 45					
	d = 60			c = 50					

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, se plantean dos escenarios I y II, tres supuestos 1, 2 y 3 dentro de cada escenario, dos alternativas dentro de cada supuesto y tres opciones para cada alternativa.

Para la realización de las maniobras en el simulador se realizó un procedimiento común para que todas las maniobras se realicen con la misma secuencia.

En primer lugar se confecciona la Tabla siguiente en la que se reflejan las maniobras a realizar en todos los escenarios y supuestos.

Tabla 55. Resumen de las simulaciones realizadas y duración de las mismas.

Vientos		Buque sin cabos		Buque con cabos		Cavotec		Total
DIR	Velocidad	RAOS 8	RAOS 9	RAOS 8	RAOS 9	RAOS 8	RAOS 9	
S	45, 50, 60 (+/- 10)	3		3		3		9
SW	35 , 45, 50	3	3	3	3	3	3	18
W	35, 45, 50		3		3		3	9
Maniobras por supuesto		6	6	6	6	6	6	36
Repeticiones por maniobra		3	3	3	3	3	3	108
		Horas	Horas	Horas	Horas	Horas	Horas	Horas
Tiempo por maniobra		0,05	0,05	1	1	1	1	
Tiempo total		0,9	0,9	18	18	18	18	73,80

Fuente: Elaboración propia.

Partiremos del número de estachas que se utilizaron en el estudio del CEDEX (Atienza et al., 2004) y son 14 líneas o cabos de 40 toneladas cada una, 8 a proa (3-3-2) y 6 a popa (2-2-1). Pero las distribuiremos de otra forma que coincide con las maniobras reales que se efectúan en el puerto de Santander actualmente, 3+2+2 a proa y popa total 14 estachas.

Tabla 56. Maniobras en raos 8, con cabos, con el sistema automático y sin cabos.

ATRACADO SIN CABOS						
MANIOBRA	VIENTO	RACHA	RAOS 8	SIN CABOS		
1	SW 35		TEXAS			
2	SW 40		TEXAS			
3	SW 45		TEXAS			
4	SW 50		TEXAS			
5	S 45	(+/-10)	TEXAS			
6	S 50	(+/-10)	TEXAS			
7	S 60	(+/-10)	TEXAS			
ATRACADO CON CABOS						
MANIOBRA	VIENTO	RACHA	RAOS 8	ESTACHAS		TOTAL
				PROA	POPA	
1	SW 35		TEXAS	3+2+3	2+2+2	14 X 40 = 560 TONS
2	SW 40		TEXAS	3+2+3	2+2+2	14 X 40 = 560 TONS
3	SW 45		TEXAS	3+2+3	2+2+2	14 X 40 = 560 TONS
4	SW 50		TEXAS	3+2+3	2+2+2	14 X 40 = 560 TONS
5	S 45	(+/-10)	TEXAS	3+2+3	2+2+2	14 X 40 = 560 TONS
6	S 50	(+/-10)	TEXAS	3+2+3	2+2+2	14 X 40 = 560 TONS
7	S 60	(+/-10)	TEXAS	3+2+3	2+2+2	14 X 40 = 560 TONS
ATRACADO CON EL SISTEMA CAVOTEC						
MANIOBRA	VIENTO	RACHA	RAOS 8	ROBOTS		TOTAL
				PROA	POPA	
1	SW 35		TEXAS	7	7	14 X 40 = 560 TONS
2	SW 40		TEXAS	7	7	14 X 40 = 560 TONS
3	SW 45		TEXAS	7	7	14 X 40 = 560 TONS
4	SW 50		TEXAS	7	7	14 X 40 = 560 TONS
5	S 45	(+/-10)	TEXAS	7	7	14 X 40 = 560 TONS
6	S 50	(+/-10)	TEXAS	7	7	14 X 40 = 560 TONS
7	S 60	(+/-10)	TEXAS	7	7	14 X 40 = 560 TONS

Fuente: Elaboración propia.

Las maniobras para la realización de este proyecto son las siguientes, hemos dividido en dos partes, una en Raos 8 y otra en Raos 9, en las tablas 57, 58 y 59 que vemos a continuación están las maniobras realizadas en Raos 8, sin cabos, con cabos y con el sistema de amarre automático:

En las tres tablas siguientes están las maniobras realizadas en Raos 9, sin cabos, con cabos y con el sistema de amarre automático:

Tabla 57. Maniobras en raos 9, sin cabos, con cabos y con el sistema automático.

ATRACADO SIN CABOS					
MANIOBRA	VIENTO	RAOS 9	SIN CABOS		
1	SW 35	TEXAS			
3	SW 45	TEXAS			
4	SW 50	TEXAS			
5	W 35	TEXAS			
6	W 45	TEXAS			
7	W 50	TEXAS			
ATRACADO CON CABOS					
MANIOBRA	VIENTO	RAOS 9	ESTACHAS		TOTAL
			PROA	POPA	
1	SW 35	TEXAS	3+2+3	2+2+2	14 X 40 = 560 TONS
3	SW 45	TEXAS	3+2+3	2+2+2	14 X 40 = 560 TONS
4	SW 50	TEXAS	3+2+3	2+2+2	14 X 40 = 560 TONS
5	W 35	TEXAS	3+2+3	2+2+2	14 X 40 = 560 TONS
6	W 45	TEXAS	3+2+3	2+2+2	14 X 40 = 560 TONS
7	W 50	TEXAS	3+2+3	2+2+2	14 X 40 = 560 TONS
ATRACADO CON EL SISTEMA CAVOTEC					
MANIOBRA	VIENTO	RAOS 9	ROBOTS		TOTAL
			PROA	POPA	
1	SW 35	TEXAS	7	7	14 X 40 = 560 TONS
3	SW 45	TEXAS	7	7	14 X 40 = 560 TONS
4	SW 50	TEXAS	7	7	14 X 40 = 560 TONS
5	W 35	TEXAS	7	7	14 X 40 = 560 TONS
6	W 45	TEXAS	7	7	14 X 40 = 560 TONS
7	W 50	TEXAS	7	7	14 X 40 = 560 TONS

Fuente: Elaboración propia.

Las maniobras con cabos se realizan con la siguiente distribución de estachas, tanto en Raos 8 como en Raos 9:

Tabla 58. Distribución de los cabos.

CABOS	PROA	POPA	TOTAL
LARGO	3	3	6
TRAVES	2	2	4
SPRING	2	2	4
TOTAL	7	7	14

Elaboración propia.

Durante la realización de las maniobras se han recogido los datos siguientes:

Común para todas las maniobras: Hora, rumbo, dirección de la proa, situación, fuerza del viento, dirección del viento, velocidad, abatimiento (sway), vaivén (surge), balance (roll)

En las maniobras con cabos añadiremos fuerza de las estachas, dirección de las estachas. Se definieron las longitudes de las estachas para que siempre el buque este en la misma situación atracado.

Tabla 59. Medidas de los cabos utilizados.

Cabos utilizados								
Nº	TIPO	POSICION	NORAY	BOLLARD BUQUE	TENSION = Toneladas		ALTURA	LONGITUD
3	LARGO	PROA	10	1	40 X 3	120	10	47
2	TRAVES	PROA	8	2	40 X 2	80	10	16
2	SPRING	PROA	7	2	40 X 2	80	10	17
3	LARGO	POPA	4	4	40 X 3	120	10	20
2	TRAVES	POPA	3	4	40 X 2	80	10	14
2	SPRING	POPA	1	5	40 X2	80	10	55

Fuente: Elaboración propia.

En las maniobras realizadas con los sistemas de Cavotec, la tensión de los robots siempre es constante, por lo que tenemos que ver si hay algún cambio en la posición del buque.

Las características del buque con el que se realizaron las maniobras en el simulador es el “Barber Texas” como ya se vieron en la Tabla 53, es una reproducción del buque real “Texas” de la empresa Wallenius Wilhelmsen que hace escalas en Santander, es un Containero reconvertido a buque RoRo.

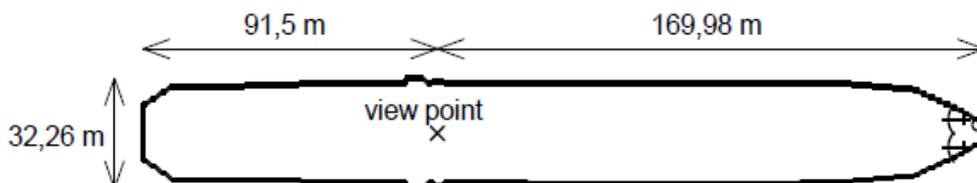
Las características del buque se han obtenido del Fairplay (Global Limited ,2015) y son las mismas del buque modelizado en el simulador utilizado para la realización de las simulaciones, las características de este buque ya:

Ilustración 112. Buque "Texas".



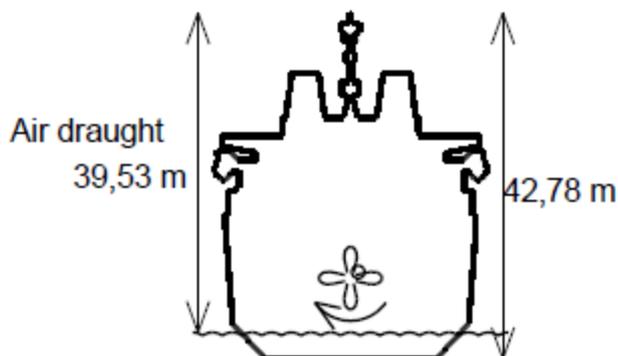
Fuente: <http://images.vesseltracker.com/>

Ilustración 113. Dibujo con las dimensiones del Buque Texas.



Fuente: Manual del simulador Kongsberg.

Ilustración 114. Dibujo con las dimensiones del Buque Texas.



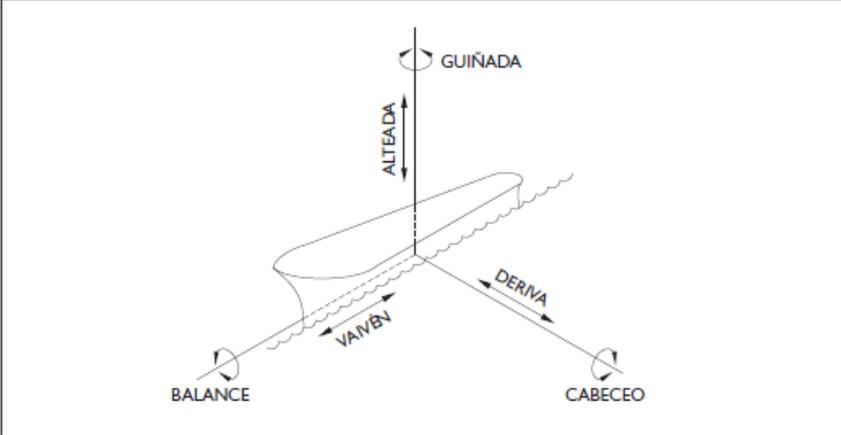
Fuente: Manual del simulador Kongsberg.

El buque es un buque de carga rodada transformado, en un principio era un buque portacontenedores que reconvirtieron en un buque RoRo, parece un buque de contenedores y en la Ilustración 112. Buque "Texas". del buque real también lo parece porque se han mantenido las formas como si fuese un cargado con la máxima carga de contenedores.

En nuestro caso estamos trabajando con buques RoRo con rampa a popa que apoya directamente sobre el muelle, estos buques cargan siempre mercancía rodada, como vehículos ligeros y pesados, maquinaria agrícola y de construcción, plataformas cargadas con piezas de grandes dimensiones, y con los pesos no siempre regularmente distribuido por lo tanto requieren mucha precisión en las operaciones de carga.

Por estas razones es tan importante que en determinados momentos el buque este completamente inmóvil. Generalmente cuando se procede a cargar este tipo de mercancía tan delicada además es necesario que la marea esté en un punto determinado, por lo tanto no podemos esperar a que el viento se calme o a las condiciones más favorables si dependemos de la altura de la marea.

Tabla 60: Valores compatibles de movimiento de buques atracados durante las operaciones de carga.



TIPO DE BUQUE	SISTEMA DE MANIPULACIÓN DE MERCANCÍAS O DE EMBARQUE Y DESEMBARQUE DE PASAJEROS	VAIVÉN (m)	DERIVA (m)	ALTEADA (m)	GUIÑADA (m)	CABECEO (°)	BALANCE (°)
Petrolero	Continuo: brazo articulado	±3,5	3,0	–	–	–	–
Gasero	Continuo: brazo articulado	±2,0	2,0	–	±1	±1	±1
Granalero y polivalente	Discontinuo elevación: carga	±1,0	1,0	–	±1	±1	±1
	Discontinuo elevación: descarga	±0,5	0,5	±0,5	±1	±1	±1
	Continuo: carga	±2,5	2,5	–	±1,5	–	–
	Continuo: descarga	±0,5	0,5	±0,5	±1	±1	±1
Mercante de Carga General	Discontinuo: elevación	±1,0	1,5	±0,5	±1,5	±1	±2,5
Portacontenedores	Discontinuo: elevación	±0,5	0,6	±0,4	±0,5	±0,5	±0,5
Ro-Ro/Ferry/Transportador de coches 3)	M. rodantes: rampa lateral	±0,5	0,6	±1,2	±0,1	±1	±2,5
	M. rodantes: rampa 3/4	±0,5	0,6	±1,0	±0,8	±0,6	±1
	M. rodantes: rampa a proa o popa	±0,3	0,6	±1,0	±0,5	±0,6	±0,8
Ferry/Crucero	Pasarela embarque/desembarque de pasajeros	±0,4	0,8	±0,25	±0,1	±0,1	±0,1
Pesquero	Discontinuo: elevación	±0,5	1,0	±0,2	±1,5	±1,5	±1,5

Notas

- 1) Los máximos movimientos horizontales y verticales incluidos en esta tabla se consideran respecto a la situación de reposo del buque atracado, medidos en su centro de gravedad, excepto para el caso del movimiento de deriva que se corresponde con la distancia medida en la dirección de alejamiento del sistema de atraque (obra de atraque + defensa). Los giros también se consideran medidos alrededor de los ejes horizontales y vertical que pasan por su centro de gravedad, respecto a la situación de reposo.
- 2) Los valores reflejados en la tabla son válidos para movimientos del buque causados por viento, corrientes y oleajes; es decir para movimientos con periodos medios entre 10 y 20 s. para movimientos del buque amarrado con periodos mayores, así como en presencia de ondas largas podrán aceptarse valores mayores. A su vez, los datos de la tabla corresponden a buques de dimensiones medias en relación con el rango de los existentes de cada tipo (Ver tabla 4.6.4.34). Los movimientos admisibles tienden a ser más reducidos para los buques de mayores dimensiones que las correspondientes al buque medio y más amplios para los buques de menores dimensiones que éste.
- 3) Si un buque opera con tipos de rampa diferente, los movimientos deben entenderse para la operación de cada rampa específica.

Fuente: (Llorca et al., 2012). Tabla 6.4.22 de la ROM 2.0-11.

En la Tabla 60 podemos ver los valores recomendados para los desplazamientos, giros y amplitudes máximos admisibles del buque atracado, compatibles con las operaciones de carga y descarga de mercancías y de embarque y desembarque de pasajeros, con equipos convencionales y en condiciones seguras.

En las simulaciones veremos si el buque sobrepasa alguno de estos valores.

Como podemos ver en dicha tabla los valores recomendados son de más menos: Vaivén 0,3 metros, alteada 1,0 metros, guiñada 0,5 metros, cabeceo 0,6°, balance 0,8° y deriva 0,6 metros.

8.5.- Resultados de la simulación de las maniobras en los diferentes supuestos

Como ya se había comentado anteriormente para hacer la parte práctica se ha consultado con los prácticos del puerto de Santander los datos de vientos extremos, a partir de los cuales actualmente necesitaríamos complementar el sistema de amarre con remolcadores empujando por el costado.

Así se ha comparado los resultados que los Prácticos nos han proporcionado por su experiencia real con los obtenidos en las simulaciones.

En la siguiente Tabla 61 podemos ver los datos que nos han dado los Prácticos:

Tabla 61. Resumen datos reales.

Muelle	Dirección viento	Velocidad de viento Kn.	Reforzar cabos	Remolcadores al costado	Obligado salir	Días al año
Raos 8	SW	40	SI (5-2 PR Y PP)	SI	NO	5-10
Raos 8	S	35	SI	SI	NO	5-10
Raos 9	SW	40	SI	SI	NO	5-10
Raos 9	W	35	SI	SI	NO	5-10

Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por los prácticos de Santander.

De los datos que nos han dado los prácticos y de estas tablas sacamos las siguientes conclusiones en:

- Escenario I: Raos 8 para cocheros pequeños de menos de 200 metros de eslora hay que poner un remolcador al costado a partir de 35 nudos de viento tanto del SW como del S, y para los buques de más de 200 metros de eslora se necesitarían al menos dos remolcadores.

- Escenario II: En Raos 9, teniendo en cuenta que es un muelle que está por construir es previsible que suceda lo mismo. El viento “malo” sería del W, y la velocidad partir de la cual haría falta asistencia de remolque sería de 35-40 nudos, de las direcciones W y SW. También sería uno para los buques menores de 200 metros y 2 para buques mayores de 200 metros.

Según las estadísticas de viento obtenidas de la página WEB de la (AEMET, 2015) el promedio de vientos entre 30 y 50 nudos en los últimos 30 años es del 17%, es decir unos 63 días por año y el promedio de vientos superiores a 50 nudos en los últimos 30 años es del 1%, es decir unos 5 días por año, pero sin especificar dirección.

Actualmente no se cierra el puerto por la intensidad del viento y se pueden hacer maniobras con seguridad hasta 40 nudos. El puerto de Santander está equipado con remolcadores tripulados por personal con mucha experiencia en maniobras con vientos fuertes.

Ahora se irán analizando los resultados obtenidos con el simulador de maniobra en tiempo real Polaris, todas realizadas por un Capitán de la Marina Mercante.

Como ya hemos visto en la tabla 6.4.22 de la ROM 2.0-11 los valores límite de movimiento de los buques atracados.

Para los buques RoRo con rampa a popa (3/4) los límites son:

Vaivén = “Surge”: $\pm 0,5$ metros.

Deriva = “Sway”: 0,6 metros.

Balance = “Roll”: $\pm 1^\circ$

En los siguientes apartados se analiza un ejemplo de cada maniobra realizada, en cada muelle, modalidad de amarre y dirección de viento.

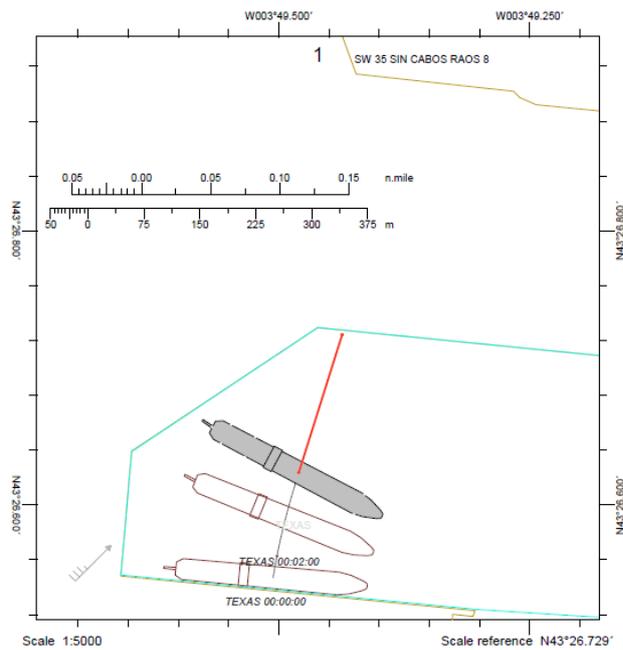
También se analizan:

- En el caso de las maniobras sin cabos, las gráficas de los movimientos del buque como escora, abatimiento y deriva.
- En el caso de las realizadas con cabos se verán algunas de las gráficas de la tensión de los cabos, movimientos y alguna Tabla con los datos.
- En el caso de las maniobras con el sistema de amarre automático las gráficas de los movimientos.

8.5.1.- Escenario I Supuesto 1 A: Muelle Raos 8: SW Sin cabos.

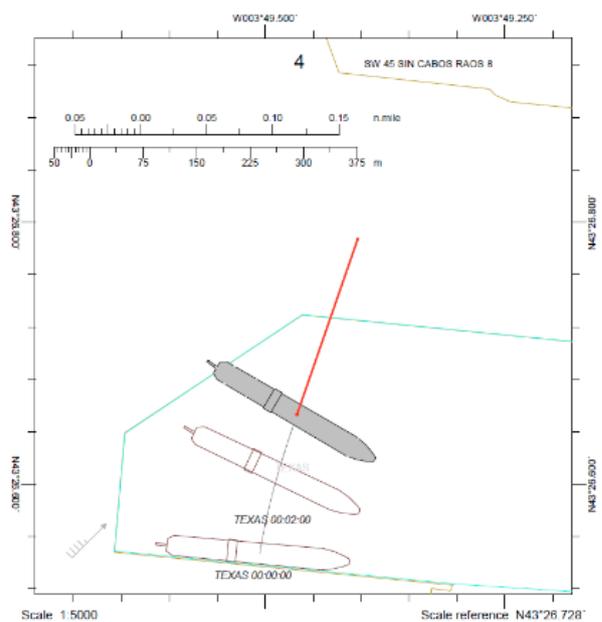
Las maniobras sin cabos en Raos 8 con vientos del SW, como ya se ha explicado, se realizaron para comprobar que el buque reacciona a los efectos del viento, que a más viento más rápido se desplaza el buque, y a distinta dirección de viento el buque se desplaza en direcciones diferentes.

Ilustración 115. Maniobra nº 1. Escenario I, Supuesto 1Aa



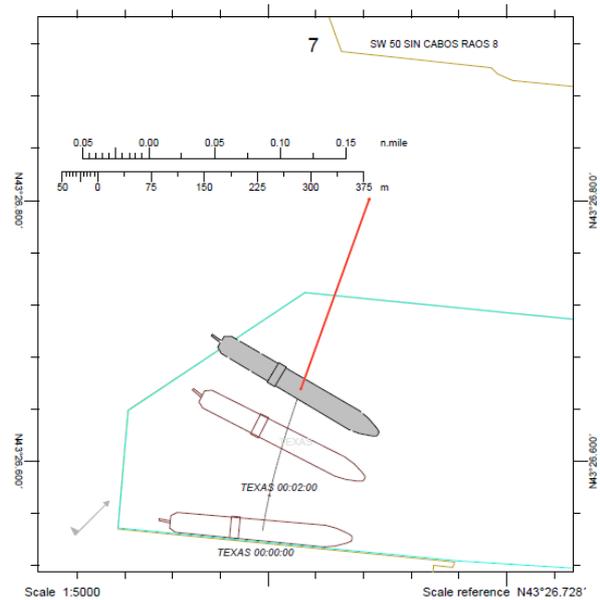
Simulación: Muelle Raos 8, con 35 nudos de viento SW. Duración 3 minutos.

Ilustración 116. Maniobra nº 4. Escenario I, Supuesto 1Ab



Simulación: Raos 8, con 45 nudos de viento SW. 3 minutos de duración.

Ilustración 117. Maniobras n° 7 Escenario I, Supuesto 1Ac



Simulación: Raos 8, con 50 nudos de viento SW. 3 minutos de duración.

En las ilustraciones anteriores se pueden ver los desplazamientos sufridos por el buque atracado sin cabos en Raos 8, con viento del SW dependiendo de la intensidad del viento.

En estas simulaciones sin cabos se ha observado que el buque:

- Maniobra n° 1: Con viento del SW de 35 nudos en 3 minutos es desplazado por el viento 190 metros, dirección NW.
- Maniobra n° 4: Con vientos de 45 nudos se desplaza 200 metros. Dirección NW.
- Maniobra n° 7: Con vientos de 50 nudos se desplaza unos 225 metros. Dirección NW.

Gráfico 8 Maniobra n° 1. Escenario I, Supuesto 1Aa



Datos de Surge, Roll y Sway resultantes Raos 8, con 35 nudos de viento SW, sin cabos, 3 minutos de duración.

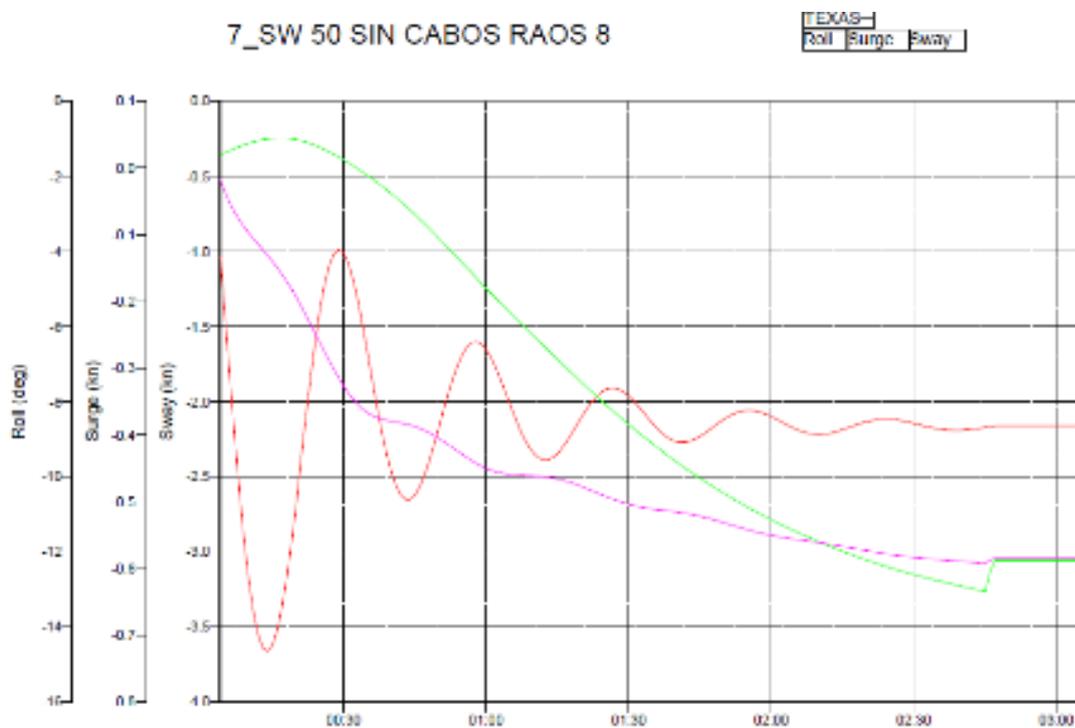
En los gráficos 8, 9 y 10 se pueden advertir los movimientos que experimenta el buque dependiendo de la intensidad del viento.

Gráfico 9. Maniobra nº 4. Escenario I, Supuesto 1Ab



Datos de Surge, Roll y Sway resultantes Raos 8, con 45 nudos de viento SW, sin cabos, 3 minutos de duración.

Gráfico 10. Maniobra nº 7. Escenario I, Supuesto 1Ac



Datos de Surge, Roll y Sway resultantes Raos 8, con 50 nudos de viento SW, sin cabos, 3 minutos de duración.

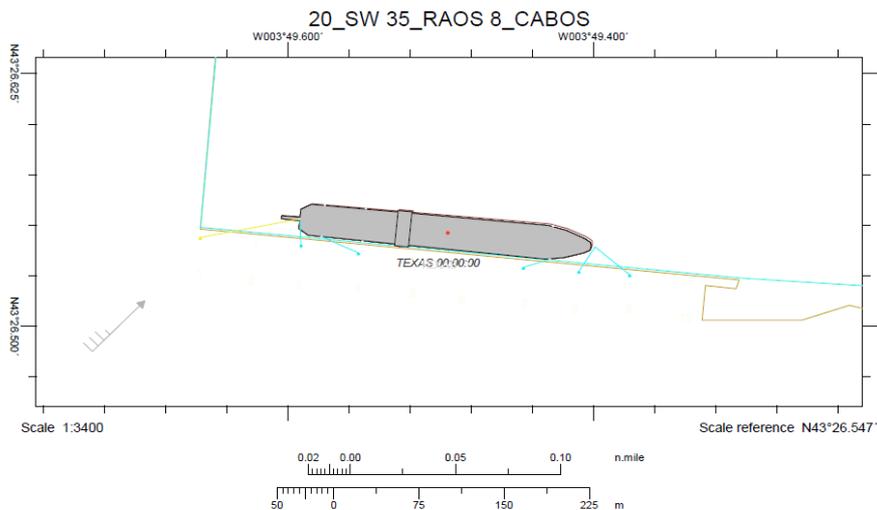
8.5.2.- Escenario I Supuesto 2 A: Muelle Raos 8: SW Con cabos

En las siguientes ilustraciones se analizan las simulaciones realizadas con el buque atracado con cabos, en Raos 8, con viento del SW con las distintas intensidades del viento.

Los cabos que utilizaremos en todas las maniobras con cabos son las que ya hemos descrito en apartados anteriores, 3+2+2 en proa y en popa. La tensión de referencia con la que empiezan las maniobras es de 560 tons en total, distribuida de la siguiente manera: Los largos tienen un total de 120 toneladas de retención, los traveses 80 igual que los esprines 80.

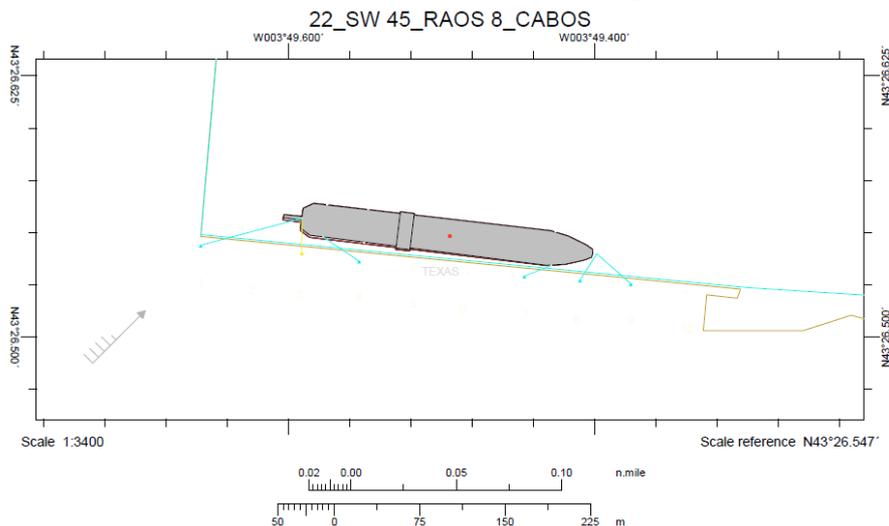
- La simulación nº 20 la comenzamos con el buque atracado con los cabos firmes, y con viento del SW con 35 nudos de intensidad. Monitorizamos los movimientos del barco y las tensiones de las estachas. Comenzamos la maniobra y se percibe que la tensión de los cabos va aumentando hasta que se estabiliza, y se evidencia que el barco aguanta perfectamente atracado. La maniobra dura 15 minutos.
- La maniobra nº 22 es igual que la anterior pero con intensidad de viento de 45 nudos del SW, la comenzamos también con el buque atracado con los mismos cabos que la anterior, en esta ocasión se observa que los cabos de popa sobrepasan la tensión de inicio. Las tensiones de los cabos van aumentando hasta que el buque se estabiliza con las siguientes tensiones de cabos: $132 + 91.4 + 80.9 + 99 + 141.5 + 123 = 667,8$ toneladas de retención. Con lo cual vemos que para vientos de hasta 45 nudos del SW necesitaríamos unas 670 tons de retención.
- La simulación nº 26 se inicia con la tensión de retención con la que terminó la maniobra anterior de 670 toneladas, se observa que al aumentar el viento hasta 50 nudos, la tensión de los cabos va aumentando, hasta que llegan a un máximo de 770 y el barco se estabiliza, por esto podemos concluir que con 50 nudos de viento del SW necesitaríamos unas 770 toneladas de retención.

Ilustración 118. Maniobra nº 20 Escenario I Supuesto 2 Aa



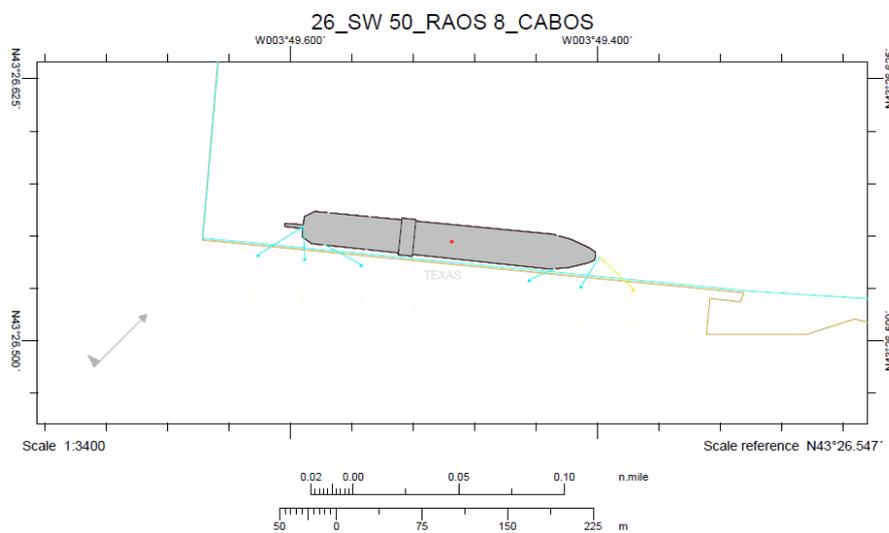
Simulación: Raos 8, con 35 nudos de viento SW, con cabos, 15 minutos de duración.

Ilustración 119. Maniobra nº 22. Escenario I Supuesto 2 Ab



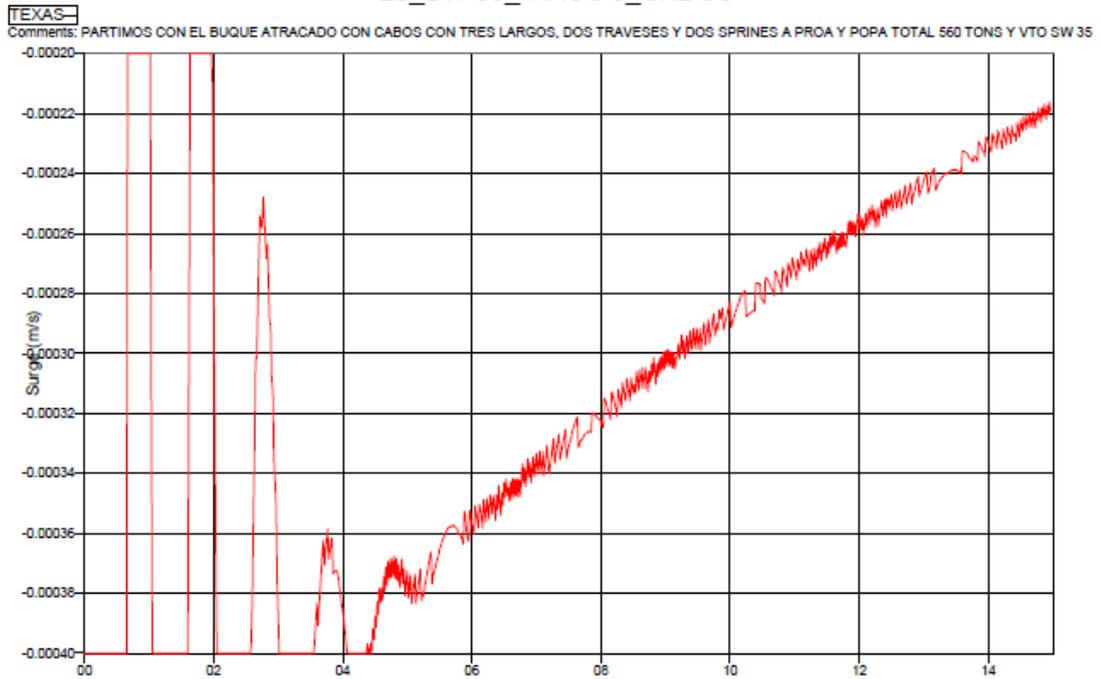
Simulación: Raos 8, con intensidad 45 nudos de viento SW, con cabos, 15 minutos de duración.

Ilustración 120. Maniobra nº 26. Escenario I Supuesto 2 Ac



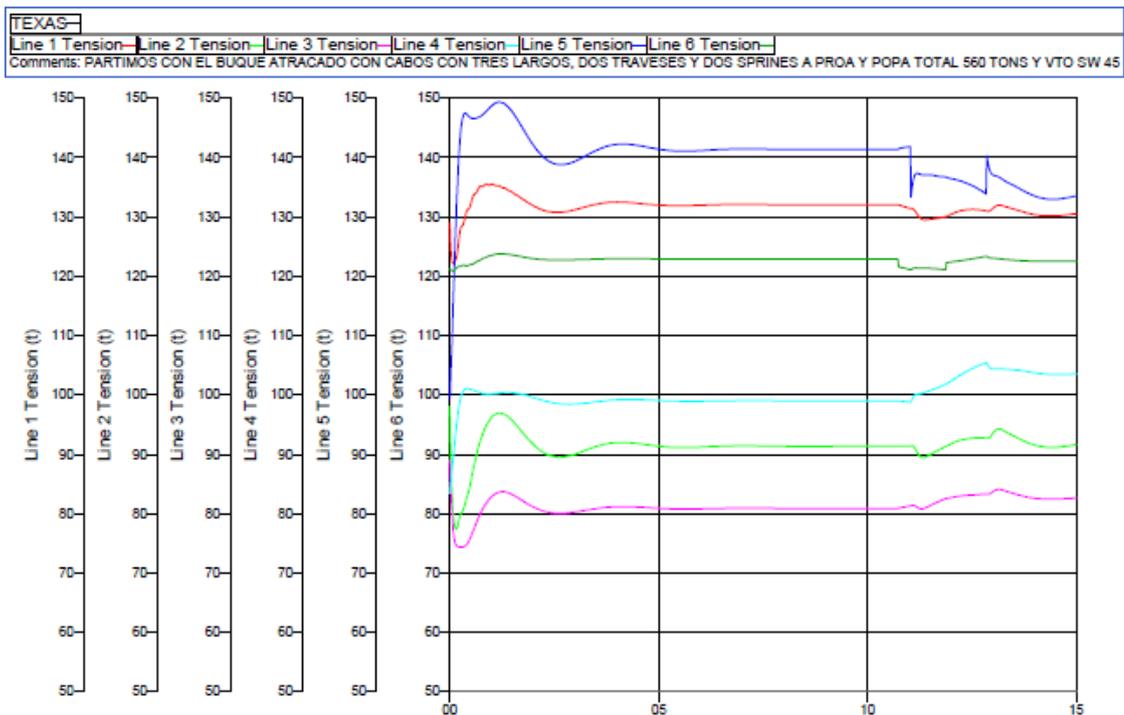
Simulación: Raos 8, con intensidad 50 nudos de viento SW, con cabos, 15 minutos de duración.

Gráfico 11. Maniobra n° 20 Escenario I Supuesto 2 Aa
20_SW 35_ RAO8_CABOS



Datos del vaivén Muelle Raos 8, con 35 nudos de viento SW, con cabos, 15 minutos de duración.

Gráfico 12: Maniobra n° 22. Escenario I Supuesto 2 Ab
22_SW 45_ RAO8_CABOS



Datos de tensión de los cabos. Muelle Raos 8, con 45 nudos de viento SW, con cabos, 15 minutos de duración.

Analizando las simulaciones y los datos obtenidos se evidencia que, a partir de vientos del SW de 35 nudos, la capacidad de retención de los buques, para que permanezca

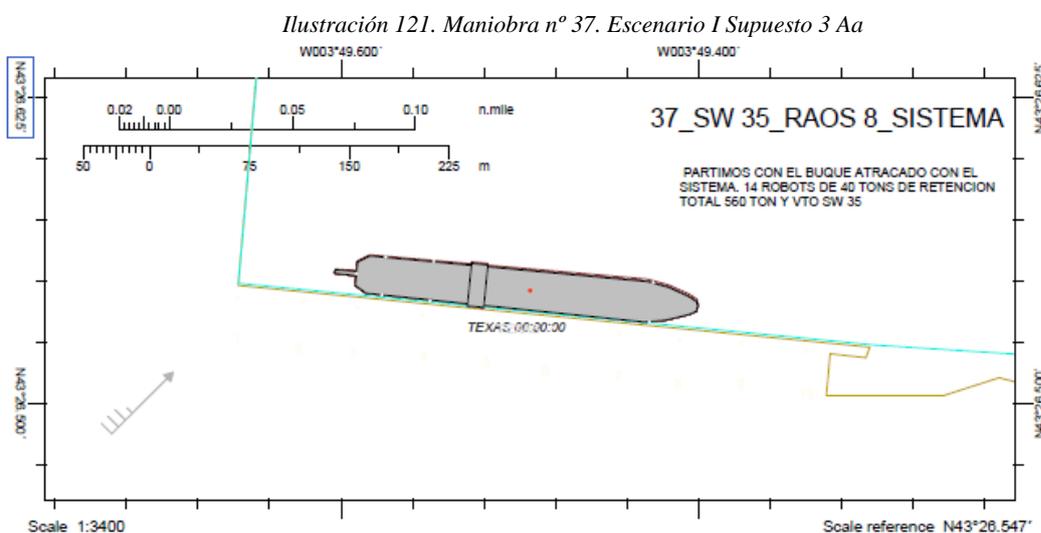
atracado y sin movimientos que reduzcan la seguridad de las operaciones, debe ser superior a 560 toneladas, *con lo cual ya podemos ir concluyendo que sí el sistema retiene al buque atracado con 14 robots de 40 tons cada uno ya estaría aguantando más que con cabos.*

Se muestran dos ejemplos de gráficas obtenidas tras la realización de las maniobras nº 20 y nº 22 como se puede ver en el Gráfico 11 el movimiento de vaivén o “Surge” de la maniobra nº 20 y en el Gráfico 12 las tensiones sufridas por los cabos durante la maniobra nº 22.

8.5.3.- Escenario I Supuesto 3 A: Muelle Raos 8: SW Sistema de amarre automático

Las maniobras con el sistema de amarre automático se ejecutarán partiendo del buque atracado, en el muelle de raos 8, sujeto al muelle mediante 14 robots de vacío de 40 toneladas de retención cada uno que hacen un total 560 toneladas distribuidas a lo largo de la eslora del buque.

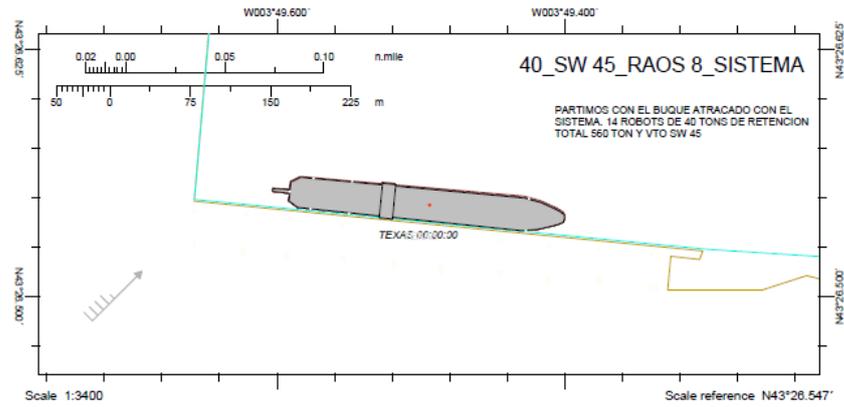
- La maniobra la nº 37 es una de las que se realizaron con vientos de 35 nudos del SW, el barco el buque aguanta perfectamente atracado.
- La maniobra nº 40 se realizó con vientos de 45 nudos del SW el barco también aguanta sin movimientos perfectamente atracado.
- En la maniobra nº 43 es con vientos de 50 nudos del SW el buque comienza a moverse ligeramente pero siempre entre de los márgenes de seguridad permitidos.



Simulación: Raos 8, con 35 nudos de viento SW, con el sistema de amarre automático. Duración maniobra 15'.

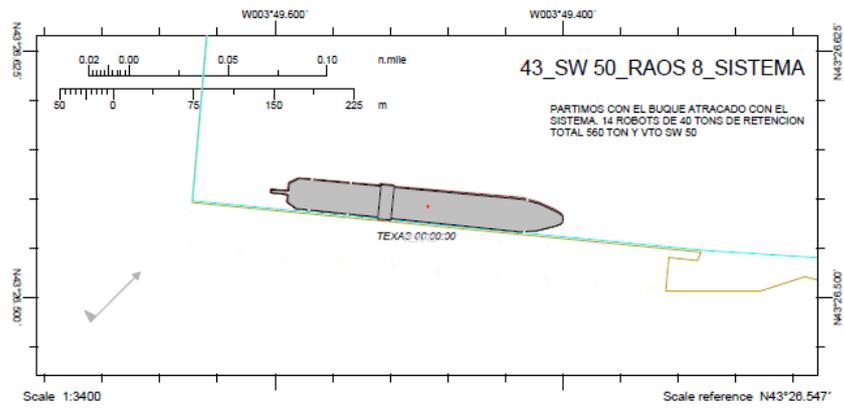
I

Ilustración 122. Maniobra n° 40. Escenario I Supuesto 3 Ab



Simulación: Raos 8, con 45 nudos de viento SW, con el sistema de amarre automático. Duración maniobra 15´.

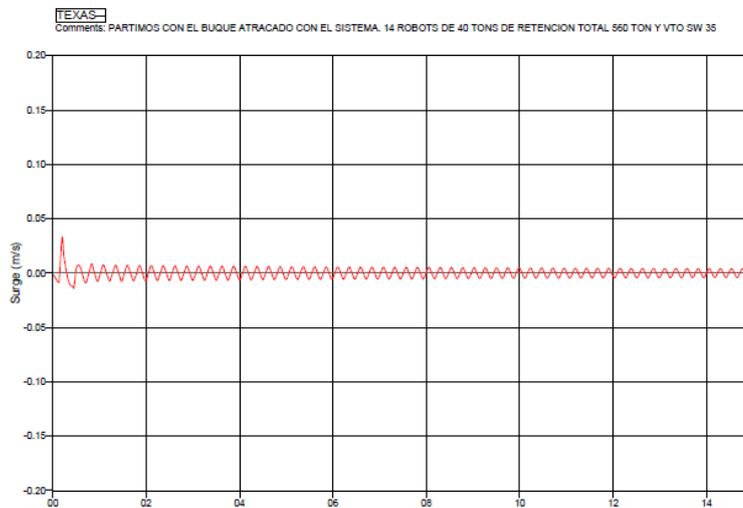
Ilustración 123. Maniobra n° 43. Escenario I Supuesto 3 Ac



Simulación: Raos 8, con 50 nudos de viento SW, con el sistema de amarre automático. Duración maniobra 15´.

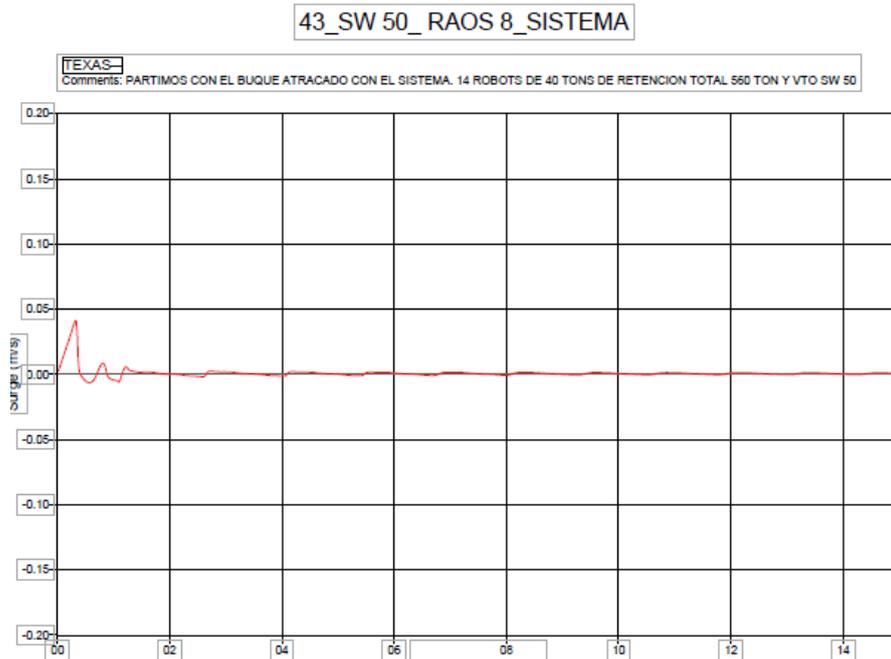
En los Gráfico siguientes se puede advertir el movimiento de vaivén o “Surge” que experimenta el barco amarrado con el sistema de amarre automático con vientos de 35 y 50 nudos.

Gráfico 13. Maniobra n° 37. Escenario I Supuesto 3 Aa
37_SW 35_RAOS 8_SISTEMA



Representación del vaivén Raos 8, con 35 nudos de viento SW, con sistema de amarre automático, Duración 15´

Gráfico 14. Maniobra nº 43 Escenario I Supuesto 3 Ab



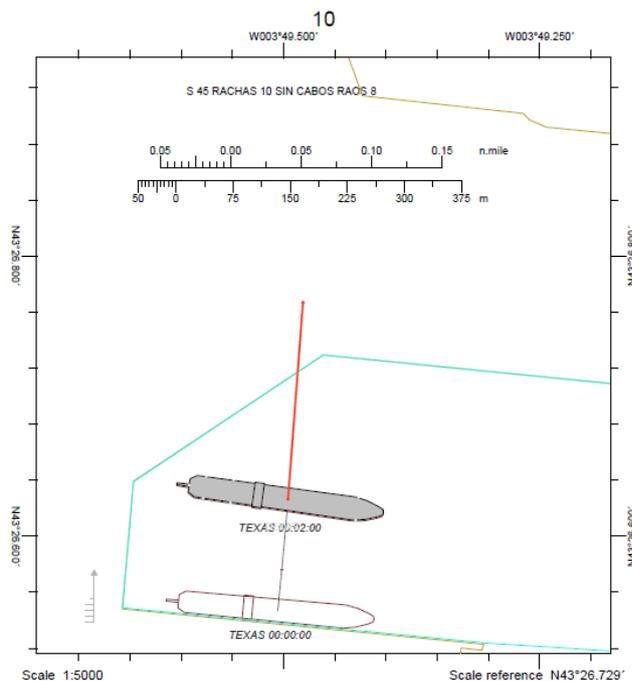
Representación del vaivén Raos 8, con 50 nudos de viento SW, con sistema de amarre automático, duración 15'

8.5.4.- Escenario I Supuesto 1 B: Muelle Raos 8: S Sin cabos

En las simulaciones sin cabos con viento del S se comprueba que en:

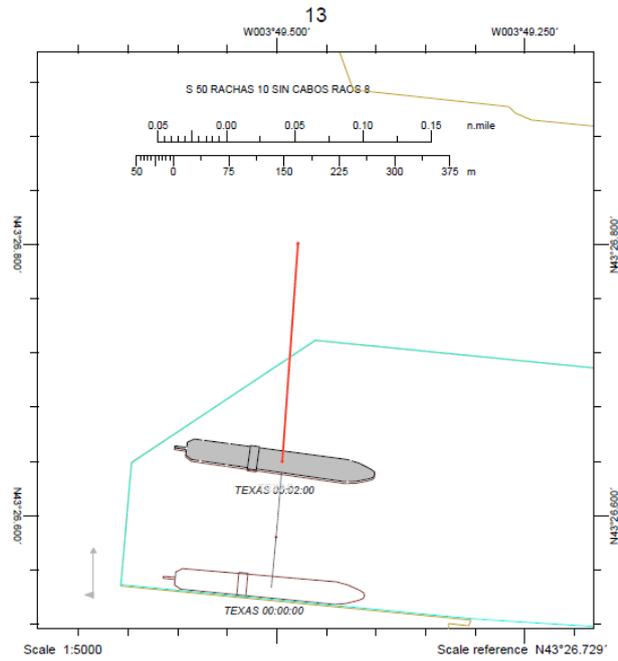
- La maniobra nº 10 con vientos de 45 nudos con rachas de 10 nudos en 3 minutos el buque es desplazado 150 metros en dirección norte,

Ilustración 124. Maniobra nº 10. Escenario I Supuesto 1 b



Simulación: Raos 8, con 45 nudos de viento S racheado, sin cabos. 3 minutos de duración.

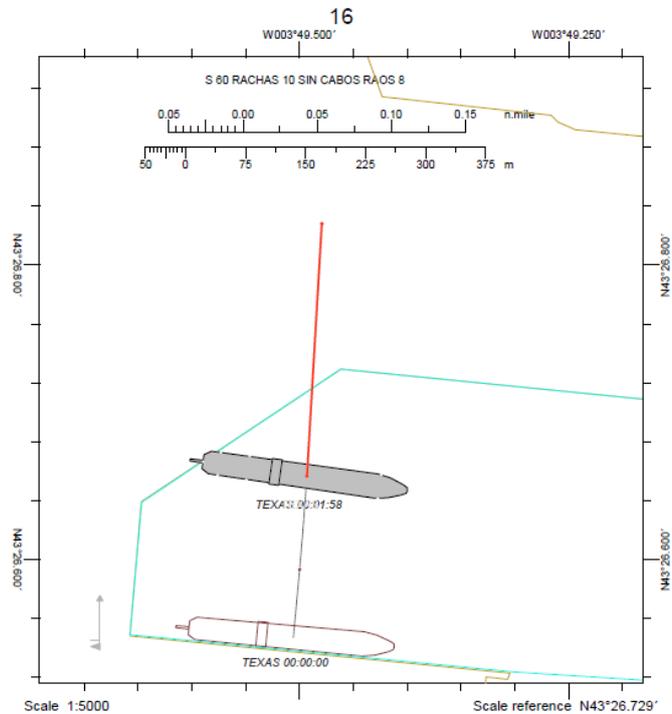
Ilustración 125. Maniobra n° 13. Escenario I Supuesto 1 c



Simulación: Raos 8, con 50 nudos de viento S racheado, sin cabos. 3 minutos de duración.

- La maniobra n° 13 con vientos de 50 nudos con rachas de 10 nudos en 3 minutos se desplaza 188 metros en dirección norte.

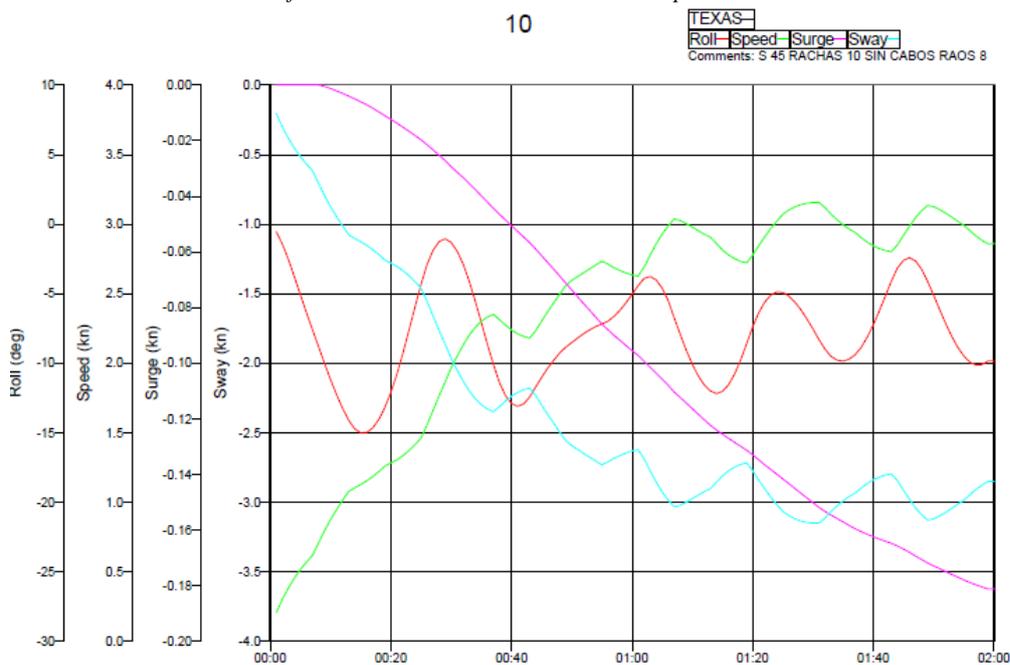
Ilustración 126. Maniobra n° 16. Escenario I Supuesto 1 d



Simulación: Raos 8, con 60 nudos de viento S racheado, sin cabos. 3 minutos de duración.

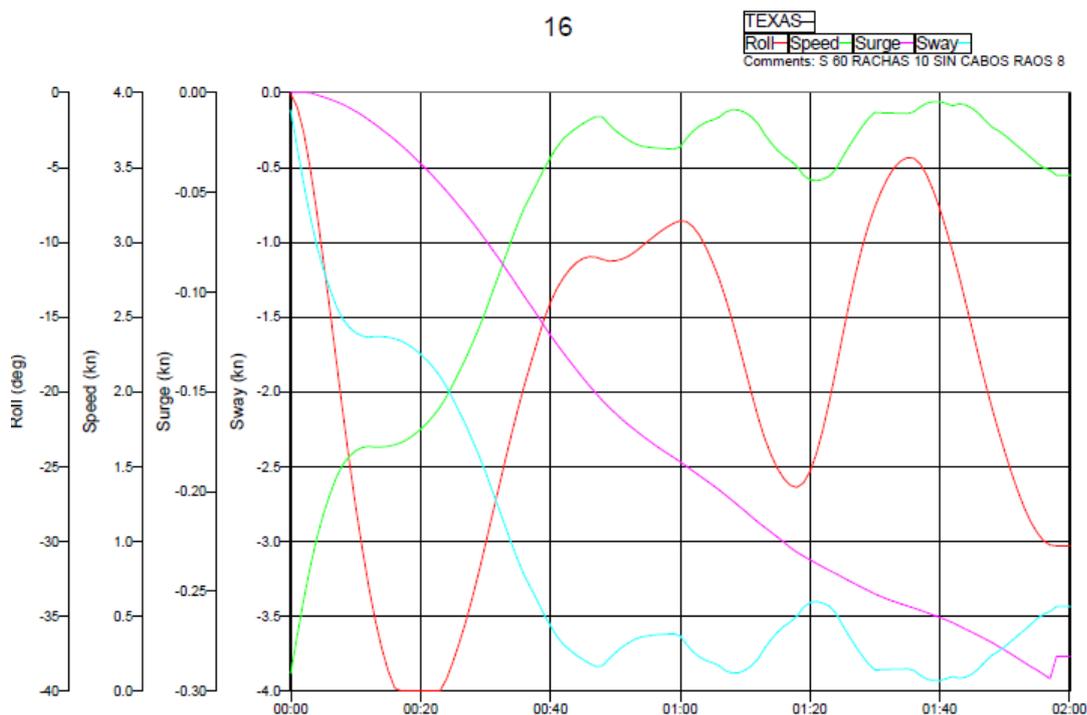
- La maniobra n° 16 con vientos de 60 nudos con rachas de 10 nudos en 3 minutos se desplaza unos 225 metros en dirección norte.

Gráfico 15. Maniobra nº 10. Escenario I Supuesto 1 b



Datos movimientos: Muelle Raos 8, con 45 nudos de viento S, racheado, sin cabos. 3 minutos de duración.

Gráfico 16: Maniobra nº 16. Escenario I Supuesto 1 d



Datos movimientos: Raos 8, con 60 nudos de viento S, racheado, sin cabos. 3 minutos de duración.

En las gráficas 15 y 16 se pueden advertir los movimientos que experimenta el buque dependiendo de la intensidad del viento. Se distinguen los movimientos de balance, vaivén, velocidad y deriva de las maniobras nº 10 y 16.

8.5.5.- Escenario I Supuesto 2 B: Muelle Raos 8: S Con cabos

Se ejecutan las maniobras partiendo del buque atracado con cabos, El número de cabos es el mismo que en la condición con cabos anterior.

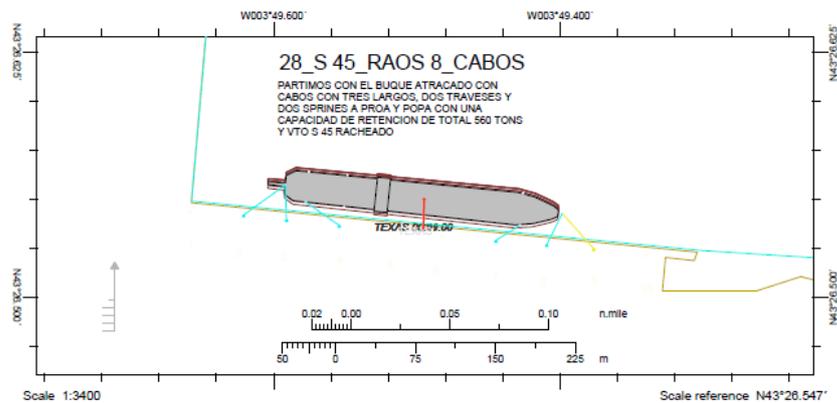
En La maniobra n° 28 con 45 nudos de viento del Sur racheado partimos con 560 toneladas de tensión total de cabos.

Viendo las simulaciones que hemos realizado con cabos con esta dirección de viento, se ha comprobado que a partir de vientos del S de 45 nudos, la capacidad de retención necesaria, para que el buque permanezca atracado y sin movimientos que reduzcan la seguridad de las operaciones, deben ser superiores a 560 toneladas, en concreto 730.

Para vientos de hasta 50 nudos del S necesitaríamos 760 tons de retención y con 60 nudos de viento necesitaríamos 780 toneladas de retención.

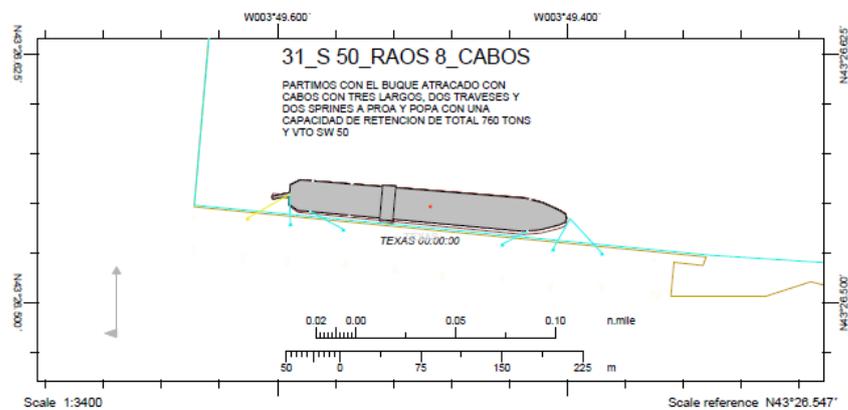
Con lo cual ya se puede ir concluyendo que el sistema, sí retiene el buque atracado con 14 robots de 40 tons cada uno, ya está aguantando más que con cabos.

Ilustración 127. Maniobra n° 28. Escenario I Supuesto 2 Bb



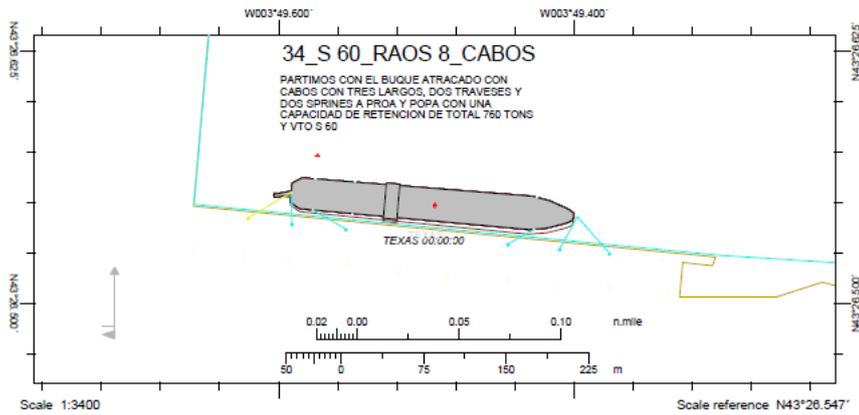
Simulación: Raos 8, con 45 nudos de viento S racheado, con cabos. Duración de cada maniobra 15 minutos.

Ilustración 128. Maniobra n° 31. Escenario I Supuesto 2 Bc



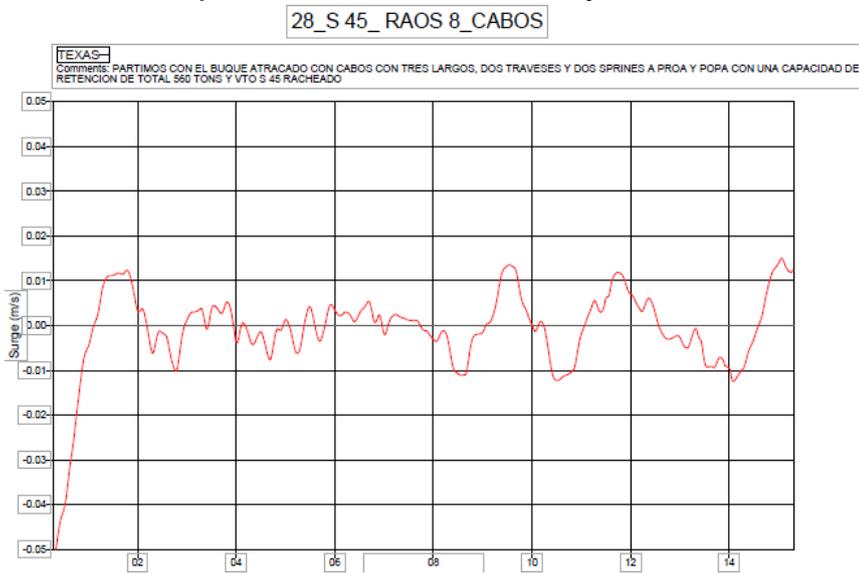
Simulación: Raos 8, con 50 nudos de viento S racheado, con cabos. Duración de cada maniobra 15 minutos.

Ilustración 129. Maniobra nº 34. Escenario I Supuesto 2 Bd



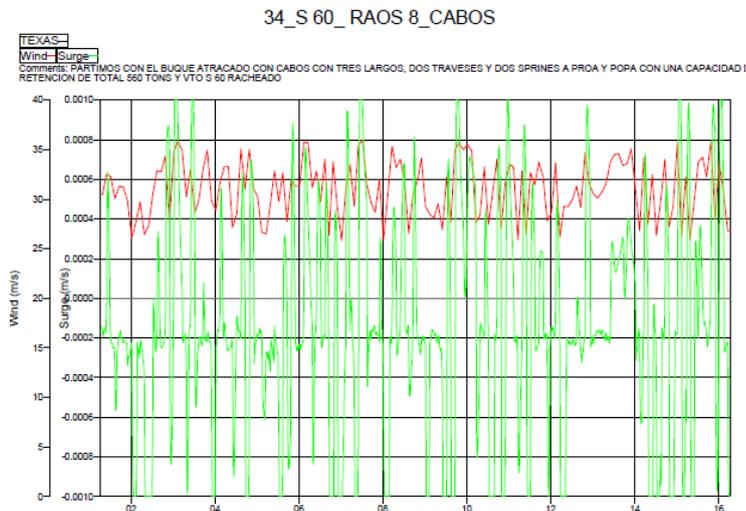
Simulación: Raos 8, con 60 nudos de viento S racheado, con cabos. Duración de cada maniobra 15 minutos.

Gráfico 17. Maniobra nº 28. Escenario I Supuesto 2 Bb



Representación del vaivén o “surge” Raos 8, con 45 nudos de viento S, con cabos, 15 minutos de duración.

Gráfico 18. Maniobra nº 34. Escenario I Supuesto 2 Bd

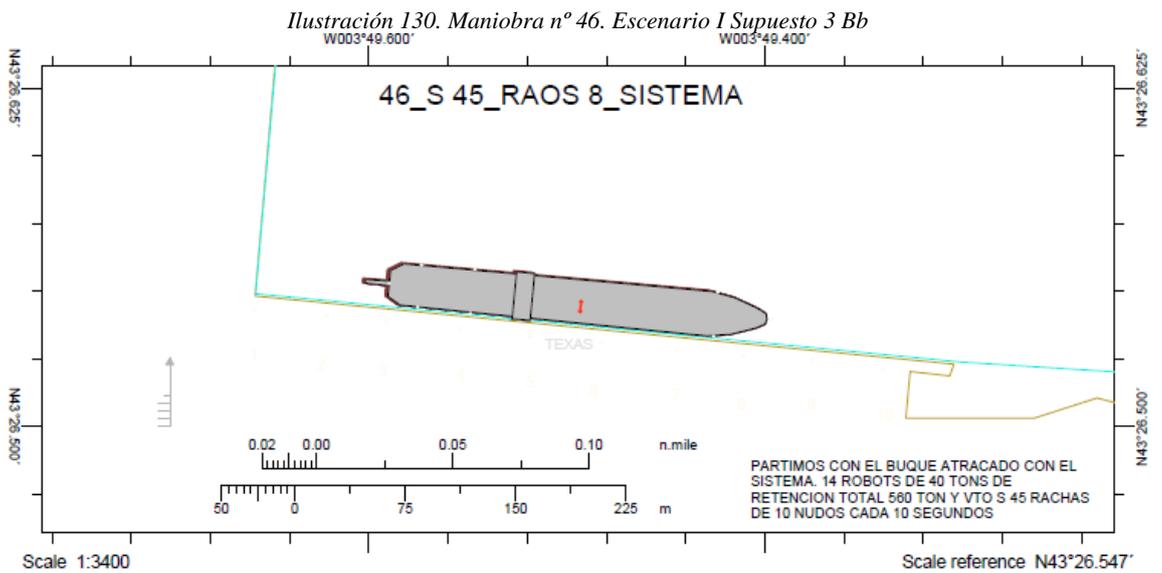


Representación del vaivén o “surge” Raos 8, con 60 nudos de viento S, con cabos, 15 minutos de duración.

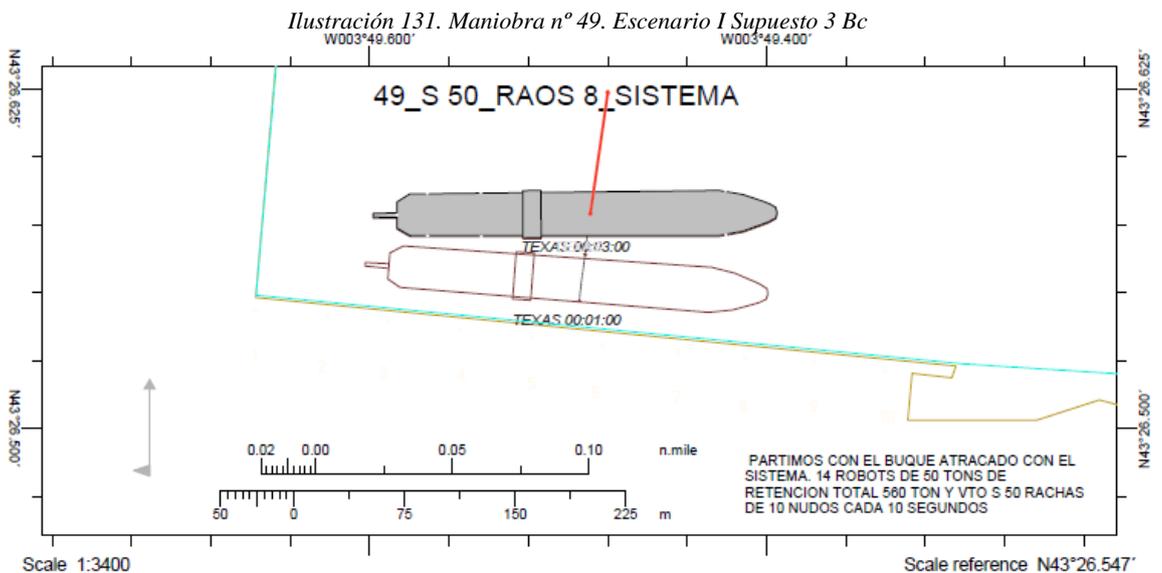
8.5.6.- Escenario I Supuesto 3 B: Muelle Raos 8: S Sistema de amarre automático

En este caso se analizan las maniobras realizadas con el buque atracado con 14 robots de 40 toneladas de retención total 560 tons:

- La maniobra n° 46 con vientos de 45 nudos del S racheado el buque aguanta perfectamente atracado.

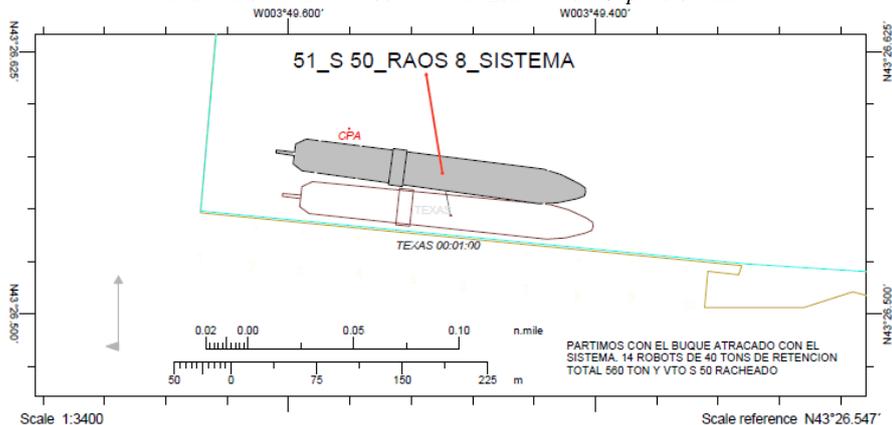


Simulación: Raos 8, con 45 nudos de viento S racheado, con el sistema de amarre automático. Duración 3 minutos.



Simulación: Raos 8, con 50 nudos de viento S racheado, con el sistema de amarre automático. Duración 3 minutos.

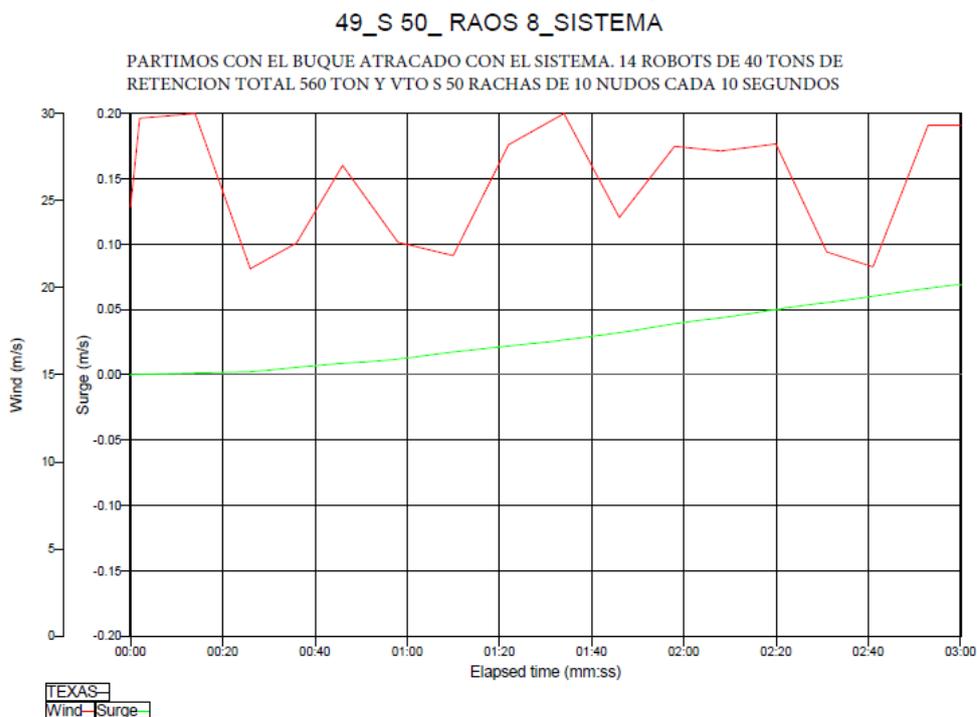
Ilustración 132 Maniobra nº 51. Escenario I Supuesto 3 Bc



Simulación: Raos 8, con 50 nudos de viento S racheado, con el sistema de amarre automático. Duración 3 minutos.

- La maniobra nº 49 con vientos de 50 nudos del S el barco no aguanta atracado, por lo tanto el límite del sistema con los 14 robots en raos 8 con vientos del S es de 50 nudos.
- Maniobra nº 51: En este caso ponemos otra maniobra con el mismo viento que la anterior del S con 50 nudos de intensidad con rachas de 10 nudos, para que quede reflejado que en todas las maniobras realizadas con este viento el buque no aguanta atracado.

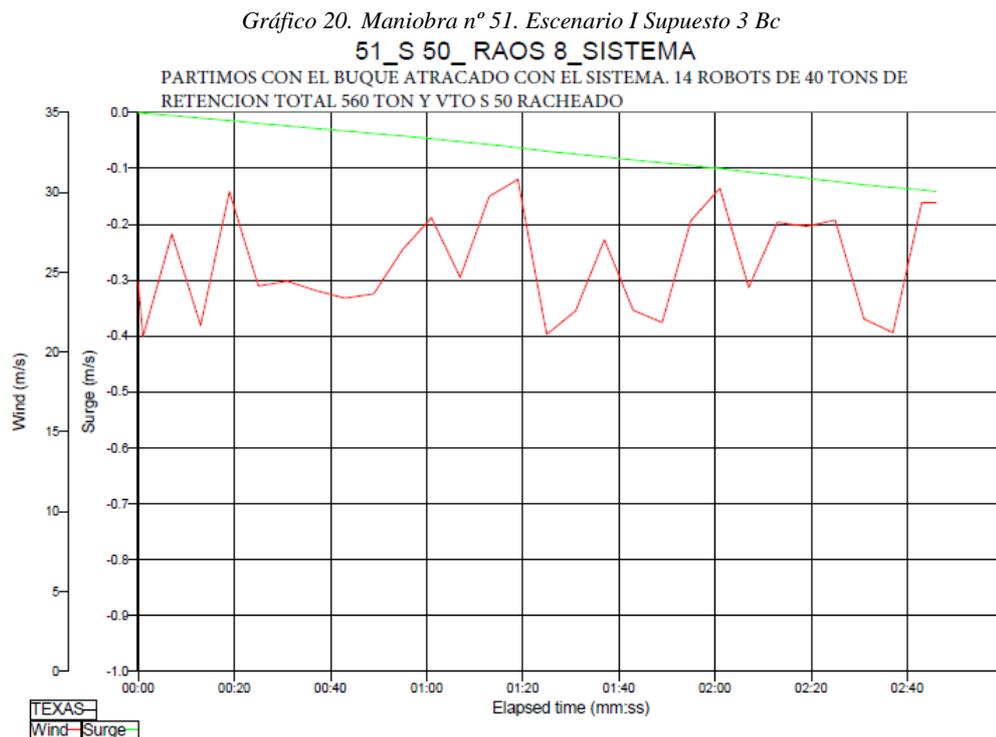
Gráfico 19. Maniobra nº 49. Escenario I Supuesto 3 Bc



Representación de la intensidad del viento y vaivén Raos 8, con 50 nudos de viento S, con el sistema, 3 minutos de duración.

En los gráficos 19 y 20 se puede advertir, en la comparativa entre las maniobras con 50 nudos del Sur, que en el dibujo de la maniobra en la n° 49 el buque se desplaza adelante y en la maniobra n° 51 se desplaza hacia popa, lo cual se ve reflejado en las gráficas la de la maniobra n° 49 el vaivén es positivo y en la maniobra n° 50 es negativo.

También se puede apreciar en los gráficos siguientes como las intensidades del viento en cada momento, las rachas de viento, afectan al barco.



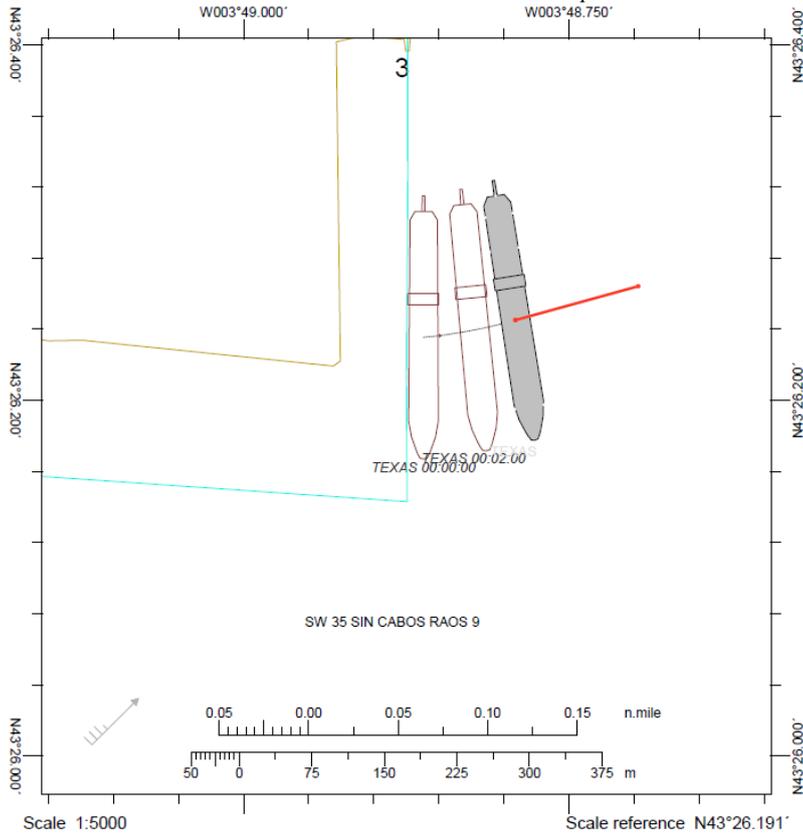
Representación de la intensidad del viento y vaivén. Raos 8, con 50 nudos de viento S, con el sistema, 3 minutos de duración.

8.5.7.- Escenario II Supuesto 1 A: Muelle Raos 9: SW Sin cabos

En las simulaciones sin cabos en Raos 9 se observa que:

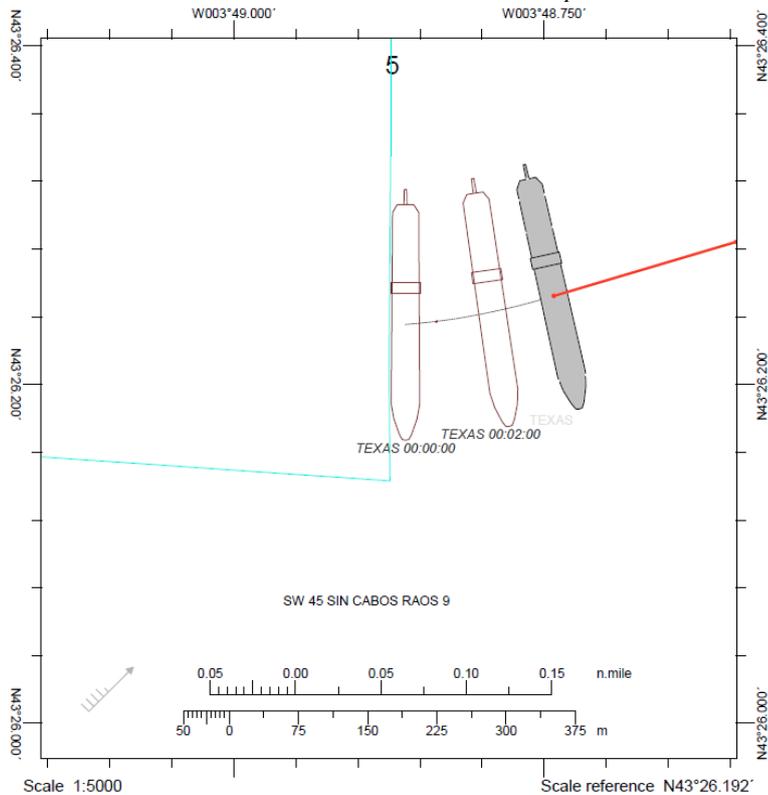
- En la maniobra n° 3 el buque con viento del SW de 35 nudos en 3 minutos es desplazado por el viento 113 metros,
- En la maniobra n° 5 con vientos de 45 nudos el buque se desplaza 154 metros
- En la maniobra n° 7 con vientos de 50 nudos se desplaza unos 190 metros.

Ilustración 133. Maniobra nº 3. Escenario II Supuesto 1 Aa



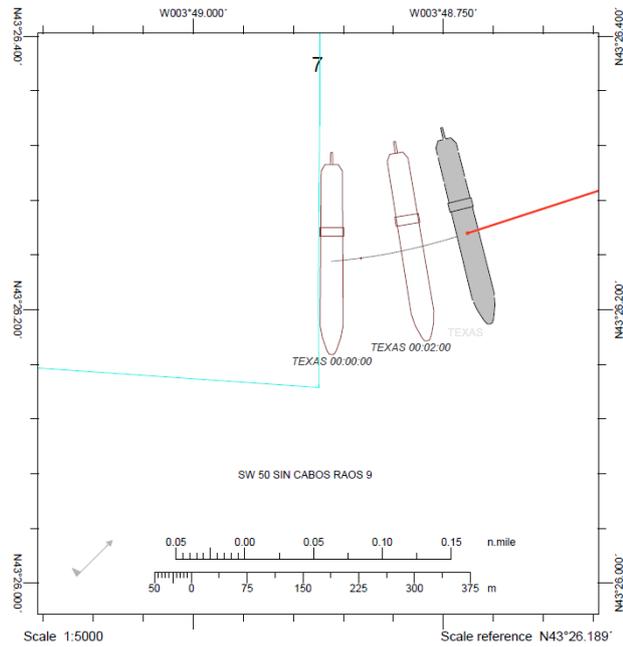
Simulación: Raos 9, con 35 nudos de viento SW, sin cabos. 3 minutos de duración.

Ilustración 134. Maniobra nº 5. Escenario II Supuesto 1 Ab



Simulación: Raos 9, con 45 nudos de viento SW, sin cabos. 3 minutos de duración.

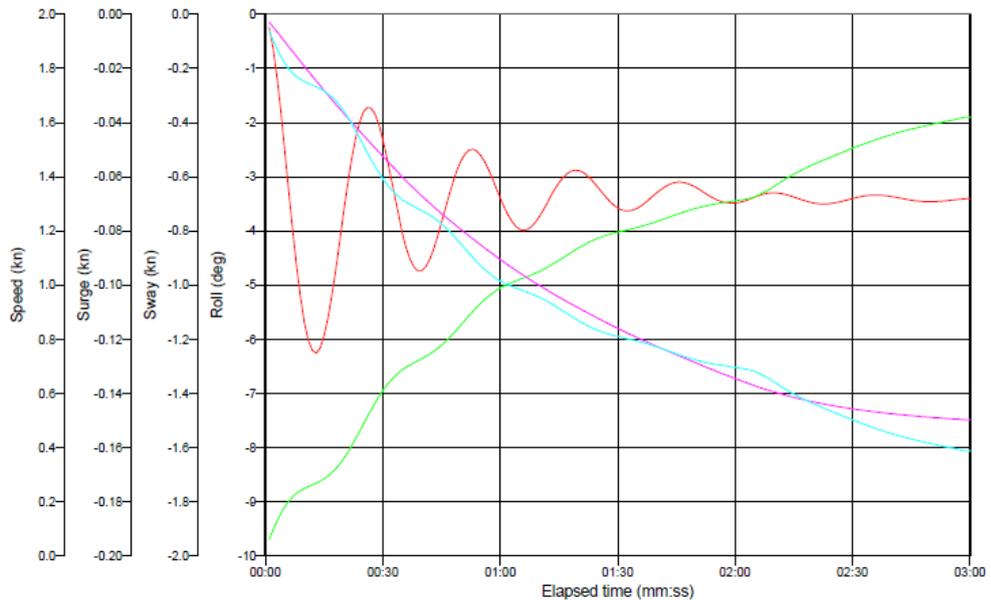
Ilustración 135. Maniobra n° 7. Escenario II Supuesto 1 Ac



Simulación: Raos 9, con 50 nudos de viento SW, sin cabos. 3 minutos de duración.

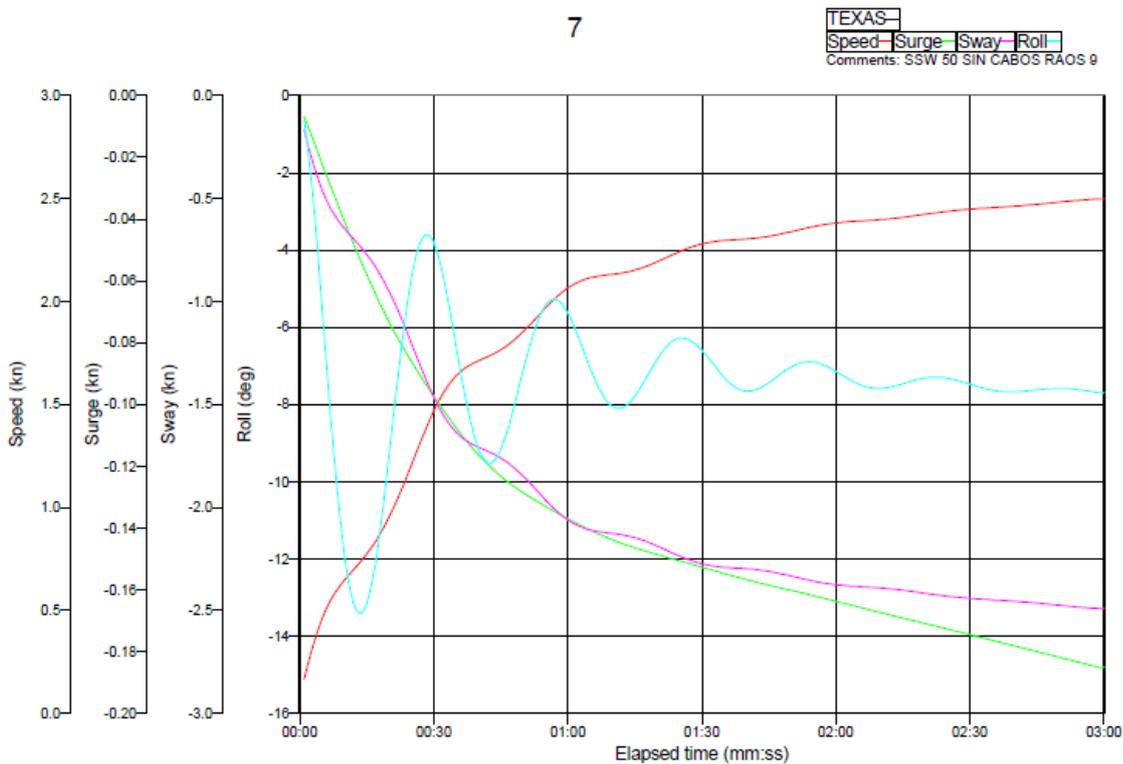
Los gráficos 21 y 22 son los obtenidos tras la realización de las maniobras n° 1 y 7, con vientos del SW, con intensidades de 35 y de 50 nudos respectivamente y con el buque atracado sin cabos. En las gráficas se pueden ver los movimientos del buque atracado, en ambas gráficas se observa que la velocidad o “Speed” y la deriva o “Sway” tienen los mismos valores pero de signos contrarios.

Gráfico 21. Maniobra n° 3. Escenario II Supuesto 1 Aa



Representación de los movimientos Raos 9, con 35 nudos de viento SW, sin cabos. 3 minutos de duración.

Gráfico 22. Maniobra nº 7. Escenario II Supuesto 1 Ac



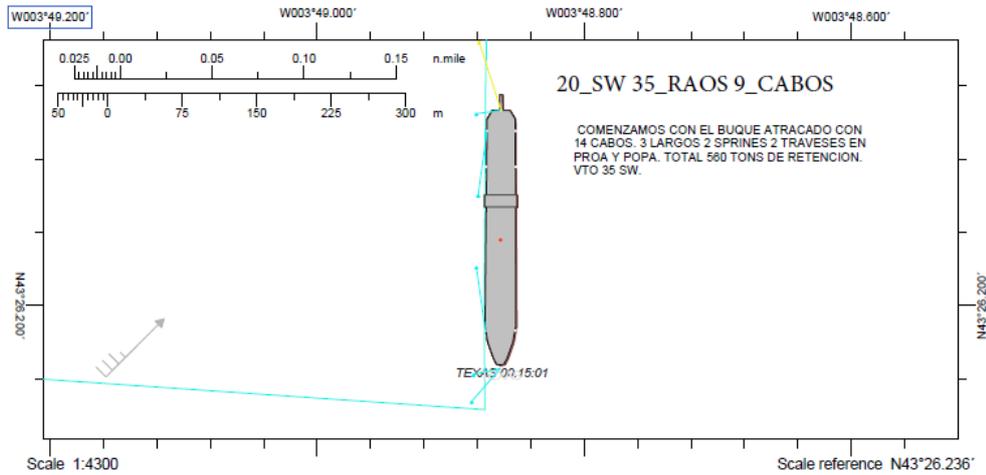
Representación de los movimientos Raos 9, con 50 nudos de viento SW, sin cabos. 3 minutos de duración.

8.5.8.- Escenario II Supuesto 2 A: Muelle Raos 9: SW Con cabos

Viendo las simulaciones que realizadas con cabos para esta condición de viento y muelle, se ha comprobado que:

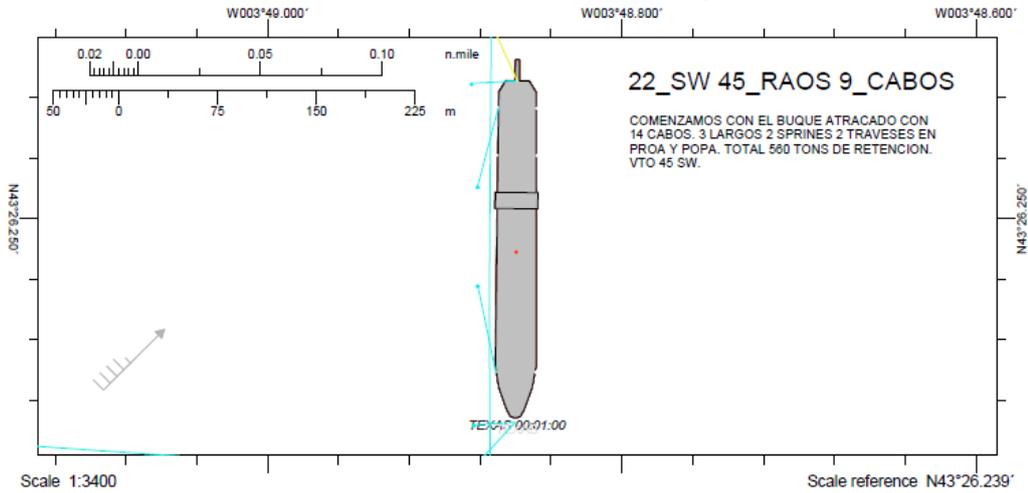
- En la maniobra nº 20 con de vientos del SW de 35 nudos la capacidad de retención de las estachas, para que el buque permanezca atracado y sin movimientos que reduzcan la seguridad de las operaciones, es de 529 toneladas, con lo cual ya podemos ver en este caso también es seguro atacar con cabos.
- En la maniobra nº 22 con vientos de 45 nudos del SW necesitaríamos 620 tons de retención.
- En la maniobra nº 25 con 50 nudos de viento necesitaríamos 770 toneladas de retención.

Ilustración 136. Maniobra n° 20. Escenario II Supuesto 2 Aa



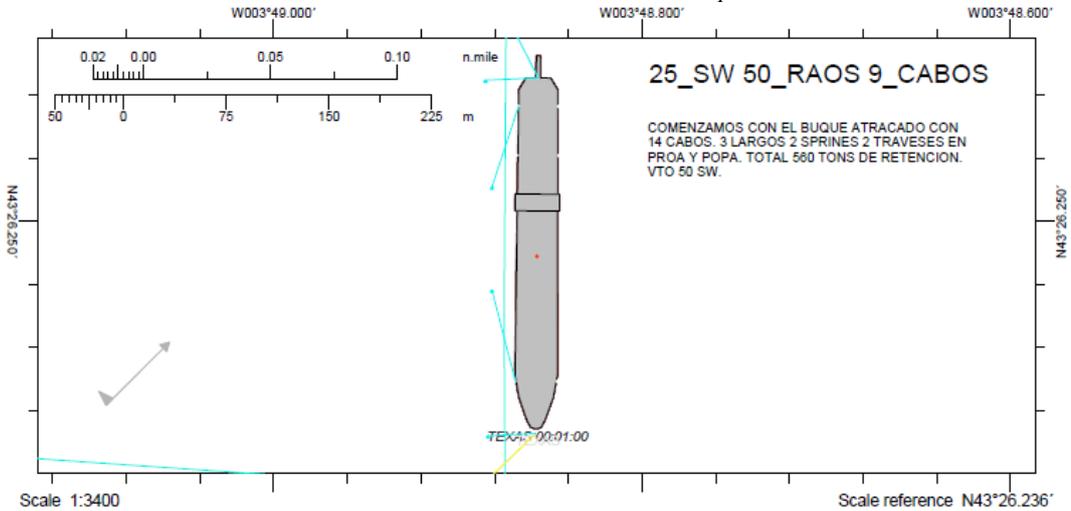
Simulación: Raos 9, con 35 nudos de viento SW, con cabos. Duración 15 minutos.

Ilustración 137. Maniobra n° 22. Escenario II Supuesto 2 Ab



Simulación: Raos 9, con 45 nudos de viento SW, con cabos. Duración 15 minutos.

Ilustración 138. Maniobra n° 25. Escenario II Supuesto 2 Ac



Simulación: Raos 9, con 50 nudos de viento SW, con cabos. Duración 15 minutos.

En la tabla 64 se pueden distinguir los valores de los movimientos y de la tensión de los cabos obtenidos de la realización de la maniobra nº 20 con el buque atracado con cabos en raos 9 con vientos del SW con 35 nudos de intensidad.

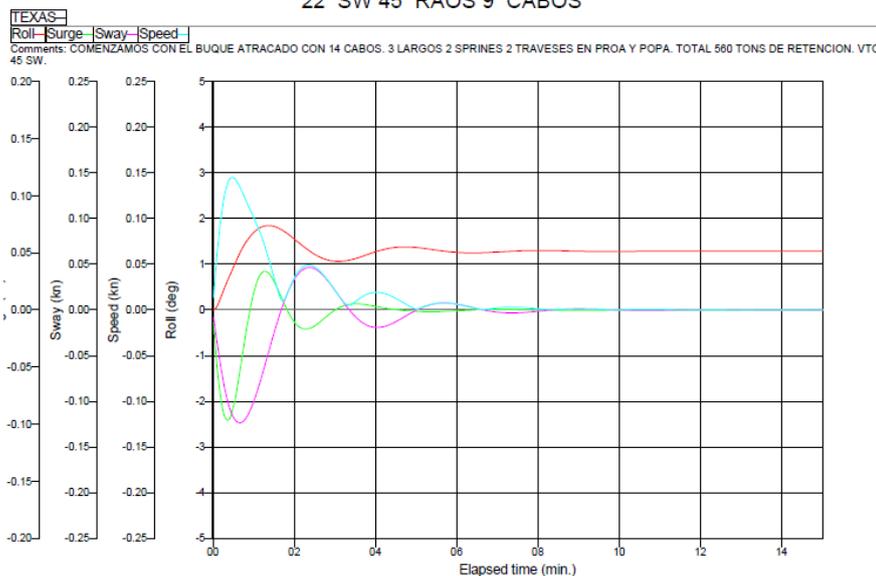
Tabla 62. Maniobra nº 20. Escenario II Supuesto 2 Aa.

HORA	COURSE	HEADING	WIND	WIND DIR	SPEED	SWAY	SURGE	LARGO PR	TRAVES PR	SPRING PR	SPRING PP	TRAVES PP	LARGO PP
	deg	deg	kn	deg	m/s	m/s	m/s	t	t	t	t	t	t
00:15:00	002	180	35,0	225	0,0000	0,0000	0,0000	115,6358	66,2700	76,1250	82,3731	72,8955	116,3125
00:14:30	360	180	35,0	225	0,0000	0,0000	0,0000	115,6325	66,2707	76,1292	82,3687	72,8906	116,3159
00:14:00	000	180	35,0	225	0,0000	0,0000	0,0000	115,6278	66,2701	76,1335	82,3644	72,8881	116,3199
00:13:26	002	180	35,0	225	0,0000	0,0000	0,0000	115,6217	66,2686	76,1383	82,3595	72,8866	116,3248
00:13:00	352	180	35,0	225	0,0000	0,0000	0,0000	115,6213	66,2724	76,1427	82,3550	72,8795	116,3275
00:12:30	005	180	35,0	225	0,0000	0,0000	0,0000	115,6144	66,2697	76,1471	82,3506	72,8795	116,3324
00:12:00	359	180	35,0	225	0,0000	0,0000	0,0000	115,6067	66,2662	76,1516	82,3458	72,8779	116,3371
00:11:32	005	180	35,0	225	0,0000	0,0000	0,0000	115,6040	66,2682	76,1566	82,3408	72,8722	116,3409
00:11:00	002	180	35,0	225	0,0000	0,0000	0,0000	115,5956	66,2646	76,1617	82,3357	72,8726	116,3467
00:10:30	004	180	35,0	225	0,0001	0,0000	-0,0001	115,5896	66,2635	76,1669	82,3304	72,8706	116,3518
00:10:00	005	180	35,0	225	0,0001	0,0000	-0,0001	115,5859	66,2652	76,1727	82,3246	72,8648	116,3564
00:09:30	000	180	35,0	225	0,0001	0,0000	-0,0001	115,5773	66,2616	76,1780	82,3190	72,8622	116,3618
00:09:00	354	180	35,0	225	0,0001	0,0000	-0,0001	115,5740	66,2640	76,1842	82,3128	72,8554	116,3665
00:08:30	354	180	35,0	225	0,0001	0,0000	-0,0001	115,5670	66,2624	76,1901	82,3067	72,8522	116,3722
00:08:00	360	180	35,0	225	0,0001	0,0000	-0,0001	115,5610	66,2623	76,1963	82,3005	72,8504	116,3784
00:07:34	003	180	35,0	225	0,0001	0,0000	-0,0001	115,5508	66,2567	76,2013	82,2953	72,8501	116,3841
00:07:00	359	180	35,0	225	0,0001	0,0000	-0,0001	115,5474	66,2608	76,2094	82,2872	72,8406	116,3900
00:06:34	001	180	35,0	225	0,0001	0,0000	-0,0001	115,5345	66,2524	76,2144	82,2818	72,8432	116,3967
00:06:00	000	180	35,0	225	0,0001	0,0000	-0,0001	115,5321	66,2581	76,2232	82,2732	72,8331	116,4031
00:05:30	003	180	35,0	225	0,0001	0,0000	-0,0001	115,5221	66,2546	76,2301	82,2661	72,8318	116,4104
00:05:00	357	180	35,0	225	0,0001	0,0000	-0,0001	115,5123	66,2515	76,2374	82,2586	72,8285	116,4176
00:04:38	356	180	35,0	225	0,0001	0,0000	-0,0001	115,5061	66,2503	76,2430	82,2527	72,8230	116,4224
00:04:00	003	180	35,0	225	0,0001	0,0000	-0,0001	115,4922	66,2452	76,2527	82,2428	72,8205	116,4324
00:03:00	001	180	35,0	225	0,0001	0,0000	-0,0001	115,4719	66,2404	76,2691	82,2263	72,8155	116,4488
00:02:36	356	180	35,0	225	0,0001	0,0000	-0,0001	115,4573	66,2323	76,2753	82,2181	72,7996	116,4526
00:02:00	357	180	35,0	225	0,0001	0,0000	-0,0001	115,5380	66,3397	76,2975	82,2156	72,8884	116,4824
00:01:32	359	180	35,0	225	0,0001	0,0000	-0,0001	115,6169	66,5126	76,3186	82,2046	72,7494	116,4680
00:01:00	085	180	35,0	225	0,0081	-0,0081	-0,0007	116,0887	66,6739	76,3130	82,2303	73,7463	116,6045
00:00:30	279	180	35,0	225	0,0363	0,0358	-0,0056	117,0679	67,3624	76,4252	81,8258	65,8289	114,4642
00:00:00	000	180	35,0	225	0,0000	0,0000	0,0000	120,0000	80,0000	80,0000	80,0000	80,0000	120,0000

Datos resultantes Raos 9, con 35 nudos de viento SW, con cabos. 15 minutos de duración

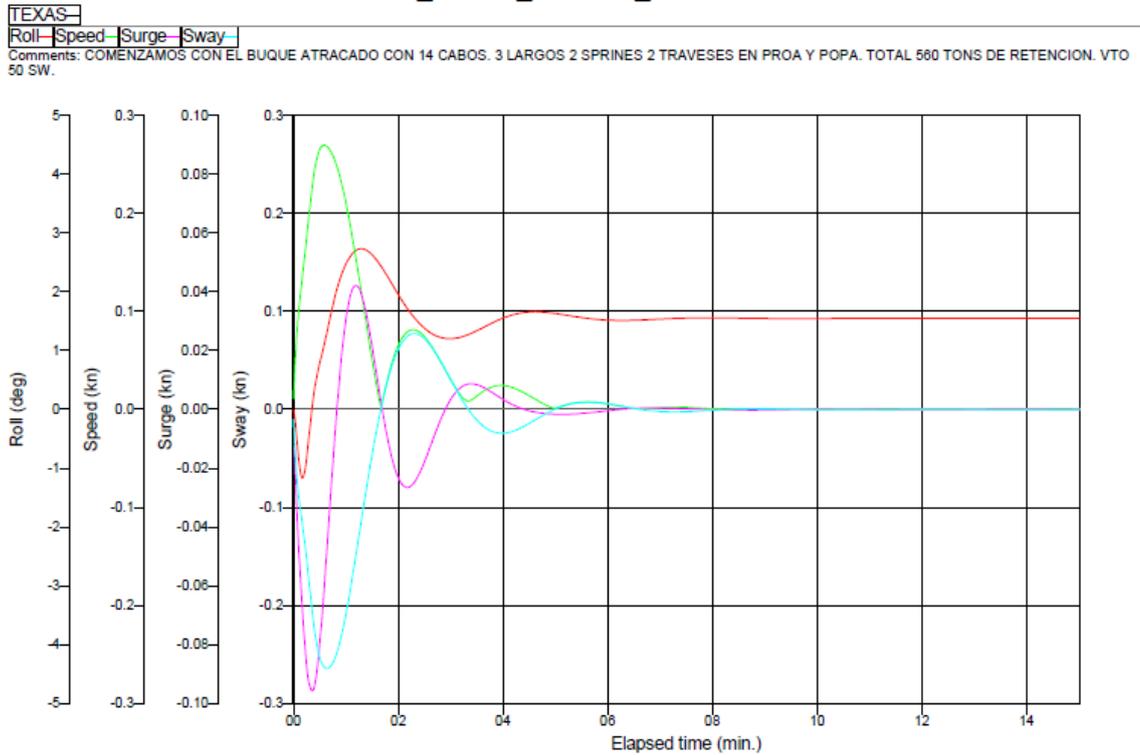
En las siguientes gráficas podemos ver la representación de los movimientos del buque con el buque atracado con cabos en raos 9 con vientos del SW de 45 y 50 nudos respectivamente.

Gráfico 23. Maniobra nº 22. Escenario II Supuesto 2 Ab. 22 SW 45 RAOS 9 CABOS



Representación de los movimientos Raos 9, con 45 nudos de viento SW, con cabos. 15 minutos de duración

Gráfico 24. Maniobra n° 25. Escenario II Supuesto 2 Ac
25_SW 50_RAOS 9_CABOS



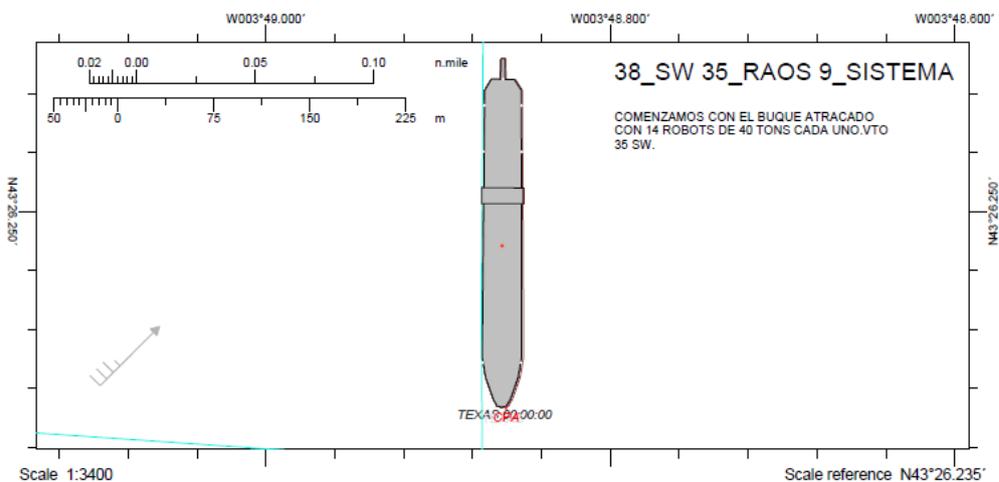
Representación de los movimientos Raos 9, con 50 nudos de viento SW, con cabos. 15 minutos de duración.

8.5.9.- Escenario II Supuesto 3 A: Muelle Raos 9: SW Sistema de amarre automático

A continuación se analizan las maniobras realizadas con el buque atracado con el sistema de amarre automático con vientos del SW en Raos 8 con las tres intensidades de viento: 35, 45 y 50 nudos:

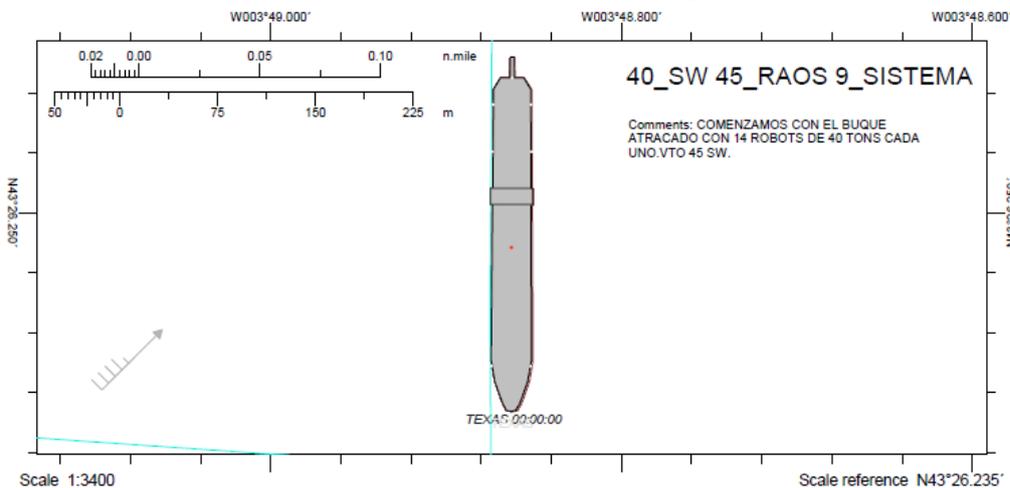
- Maniobra n° 38: Atracado con 14 robots de 40 toneladas de retención total 560 tons, con vientos de 35 nudos del SW el barco el buque aguanta perfectamente atracado.
- Maniobra n° 40: Con vientos de 45 nudos del SW el barco también aguanta sin movimientos perfectamente atracado.
- Maniobra n° 43: Con vientos de 50 nudos del SW el buque comienza a moverse ligeramente pero siempre entre de los márgenes de seguridad permitidos.

Ilustración 139. Maniobra nº 38. Escenario II Supuesto 3 Aa



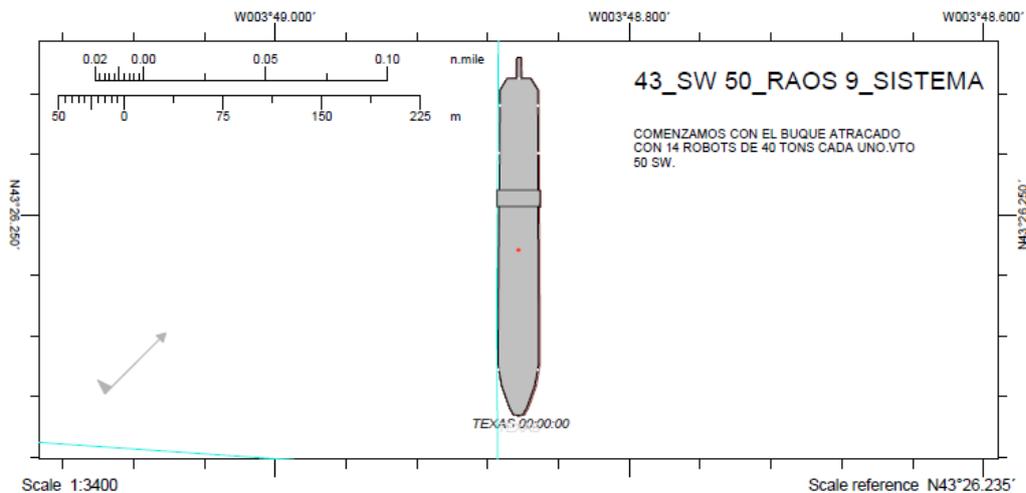
Simulación: Raos 9, con 35 nudos de viento SW, con el sistema de amarre automático. Duración 15 minutos.

Ilustración 140. Maniobra nº 40. Escenario II Supuesto 3 Ab



Simulación: Raos 9, con 45 nudos de viento SW, con el sistema de amarre automático. Duración 15 minutos.

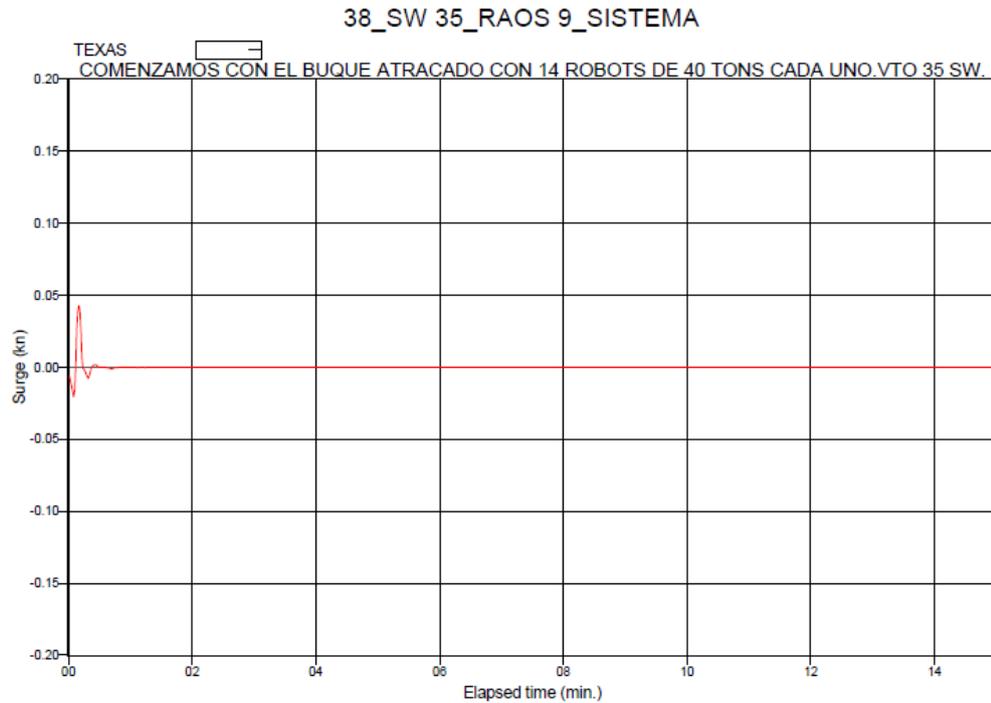
Ilustración 141. Maniobra nº 43. Escenario II Supuesto 3 Ac



Simulación: Raos 9, con 50 nudos de viento SW, con el sistema de amarre automático. Duración 15 minutos.

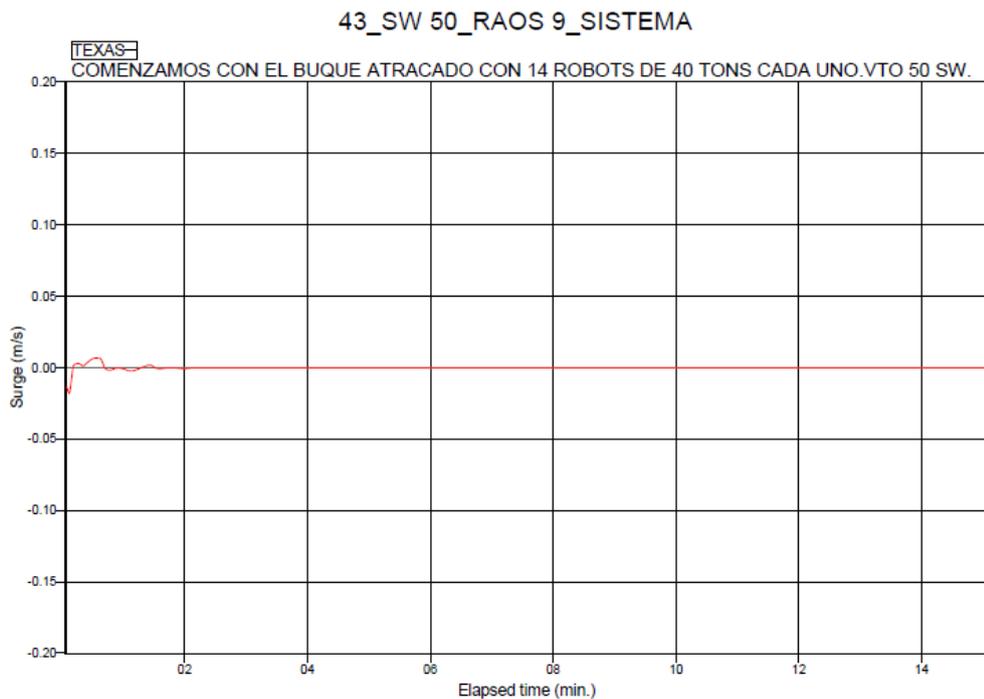
Las siguientes gráficas que hemos seleccionado son de los movimientos de vaivén de las maniobras n° 38 y 43, podemos ver que a más viento más tiempo dura el movimiento de vaivén inicial, hasta que se estabiliza el buque.

Gráfico 25. Maniobra n° 38. Escenario II Supuesto 3 Aa



Representación de los movimientos Raos 9, con 35 nudos de viento S, con cabos. 15 minutos de duración.

Gráfico 26. Maniobra n° 43. Escenario II Supuesto 3 Ac



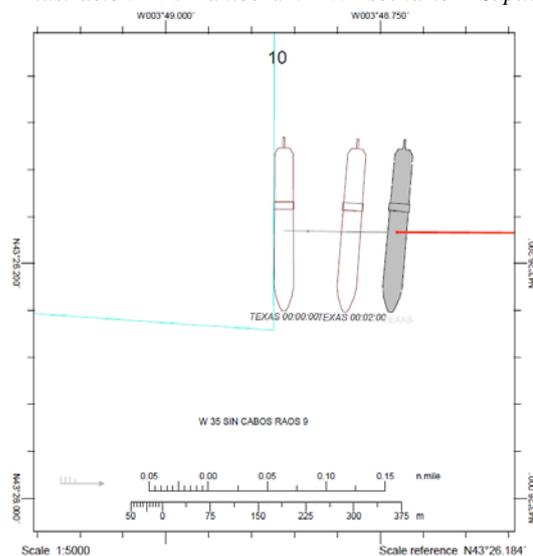
Representación de los movimientos Raos 9, con 50 nudos de viento S, con cabos. 15 minutos de duración.

8.5.10.- Escenario II Supuesto 1 C: Muelle Raos 9: W Sin cabos

En las simulaciones sin cabos con el buque atracado en raos 9 sin cabos firmes a tierra se ha podido observar en:

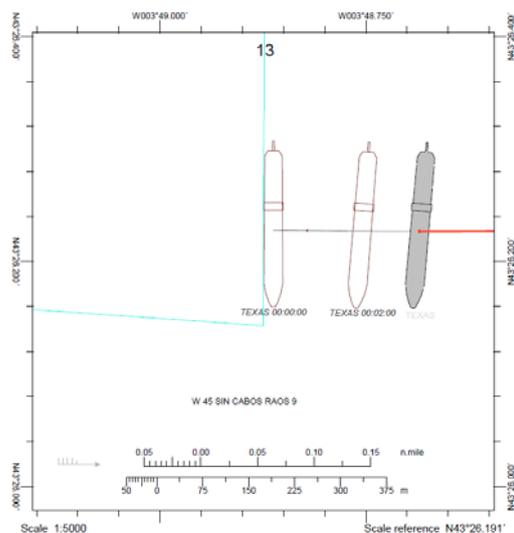
- La maniobra nº 10 que el buque con viento del W de 35 nudos en 3 minutos es desplazado por el viento 155 metros hacia el Este.
- La maniobra nº 13, con vientos de 45 nudos se desplaza 245 metros hacia el Este.
- La maniobra nº 16 con vientos de 50 nudos se desplaza unos 267 metros hacia el Este.

Ilustración 142. Maniobra nº 10. Escenario II Supuesto 1 Ca



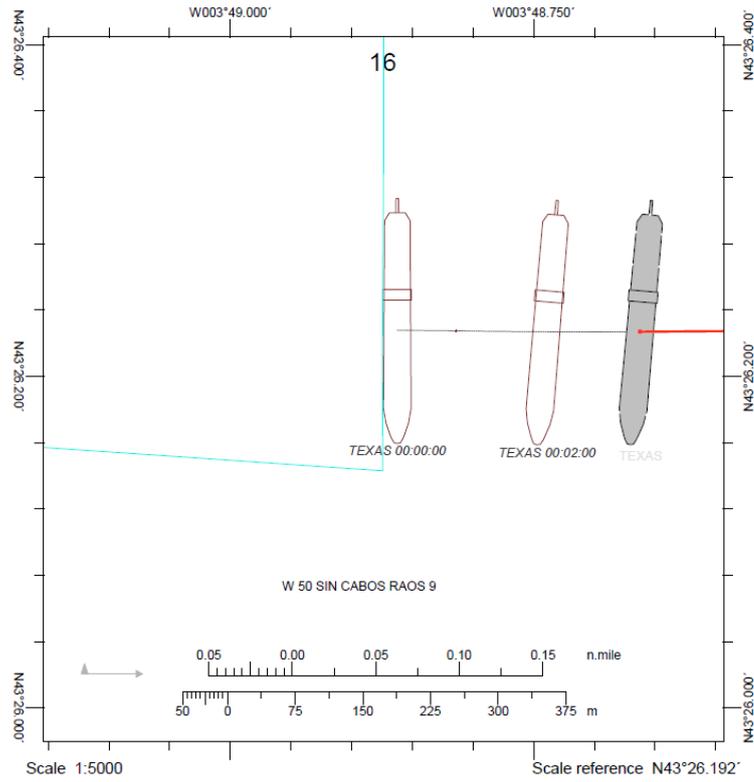
Simulación: Raos 9, con 35 nudos de viento W, sin cabos. Duración 3'.

Ilustración 143. Maniobra nº 13. Escenario II Supuesto 1 Cb



Simulación: Raos 9, con 45 nudos de viento, W, sin cabos. Duración 3'.

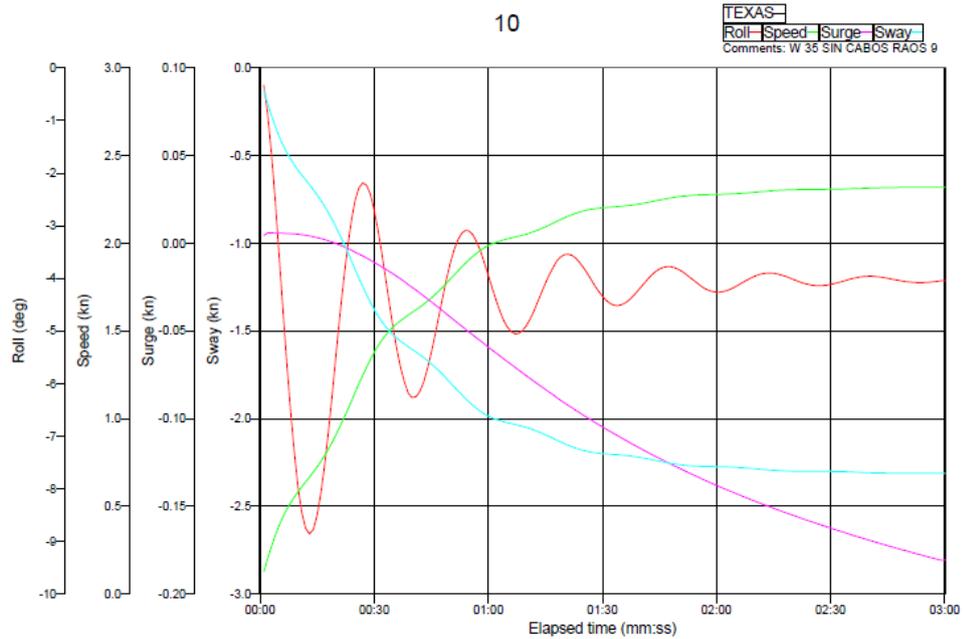
Ilustración 144. Maniobra n° 16. Escenario II Supuesto 1 Cc



Simulación: Raos 9, con 50 nudos de viento W, sin cabos. Duración 3'.

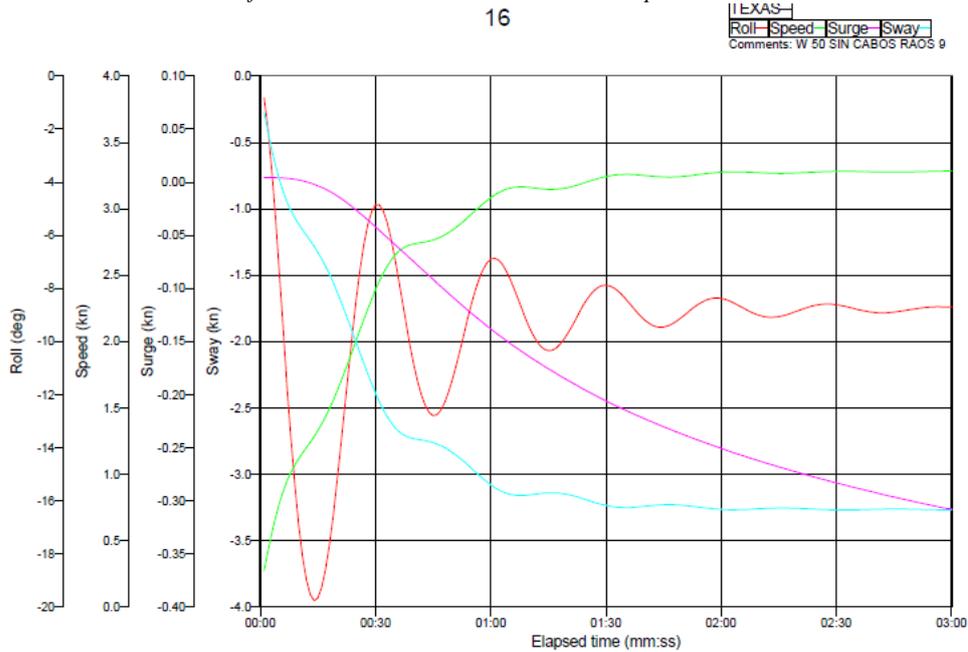
En el gráfico siguiente se pueden ver los movimientos que experimenta el barco en las maniobras n° 10 y n° 16 con vientos del W con intensidades de 35 y 50 nudos. Se evidencia que a más vientos los movimientos son mayores.

Gráfico 27: Maniobra n° 10. Escenario II Supuesto 1 Ca



Representación de los movimientos Raos 9, con 35 nudos de viento W, sin cabos. 3 minutos de duración.

Gráfico 28: Maniobra nº 16. Escenario II Supuesto 1 Cc.
16



Representación de los movimientos Raos 9, con 50 nudos de viento W, sin cabos. 3 minutos de duración

8.5.11.- Escenario II Supuesto 2 C: Muelle Raos 9: W Con cabos

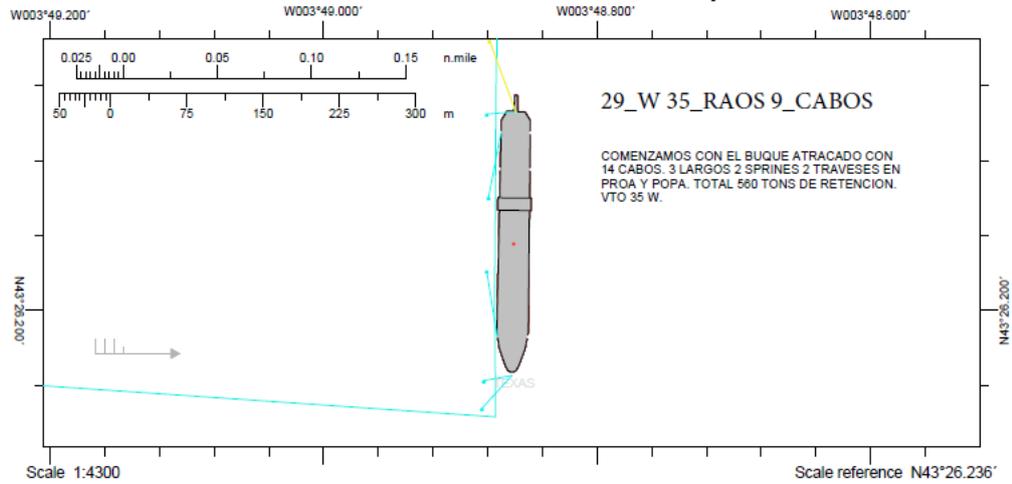
A continuación veremos las simulaciones que realizadas con cabos, en Raos 9:

- Maniobra nº 29: Esta maniobra muestra que a partir de vientos del SW de 35 nudos, la capacidad de retención de los cabos, para que el buque permanezca atracado y sin movimientos que reduzcan la seguridad de las operaciones, deben ser superiores a 560 toneladas.

En el siguiente apartado se verá que si el sistema de amarre automático retiene al buque atracado, en estas condiciones, con 14 robots de 40 tons cada uno, aguantará más que con cabos.

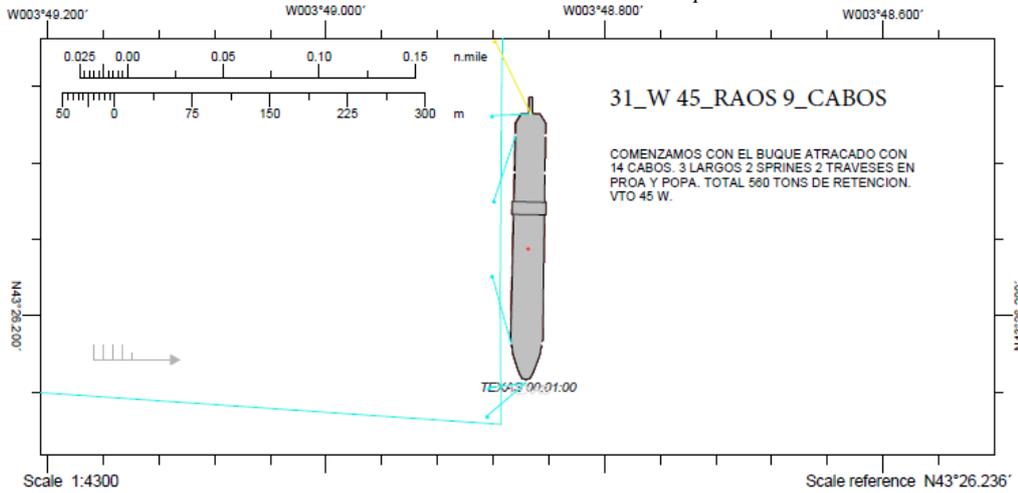
- Maniobra nº 31: Con esta maniobra podemos comprobar que para vientos de 45 nudos del SW necesitaríamos 770 tons de retención de cabos.
- Maniobra nº 34: Para concluir con esta maniobras de 50 nudos de viento necesitaríamos 886 toneladas de retención de cabos.

Ilustración 145. Maniobra n° 29. Escenario II Supuesto 2 Ca



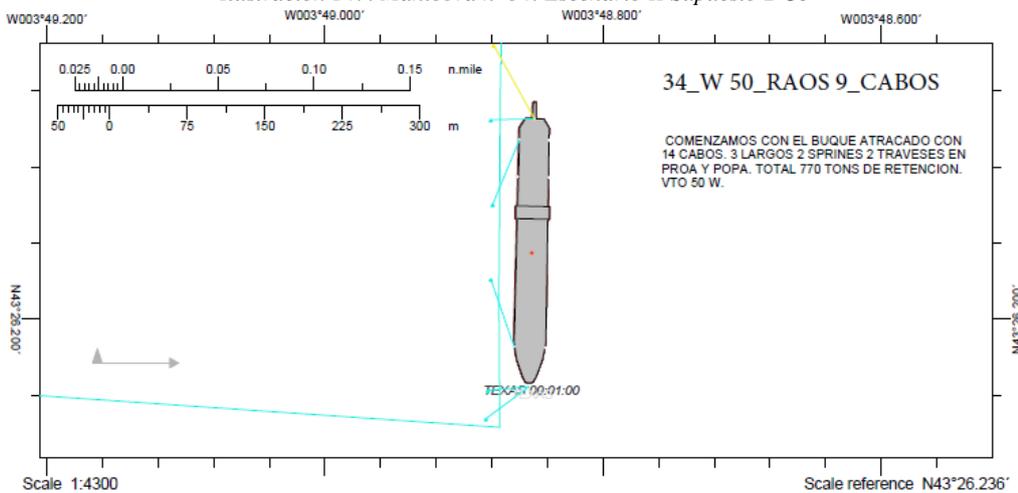
Simulación: Raos 9, con 35 nudos de viento W, con cabos. Duración 15'.

Ilustración 146. Maniobra n° 31. Escenario II Supuesto 2 Cb



Simulación: Raos 9, con 45 nudos de viento W, con cabos. Duración 15'.

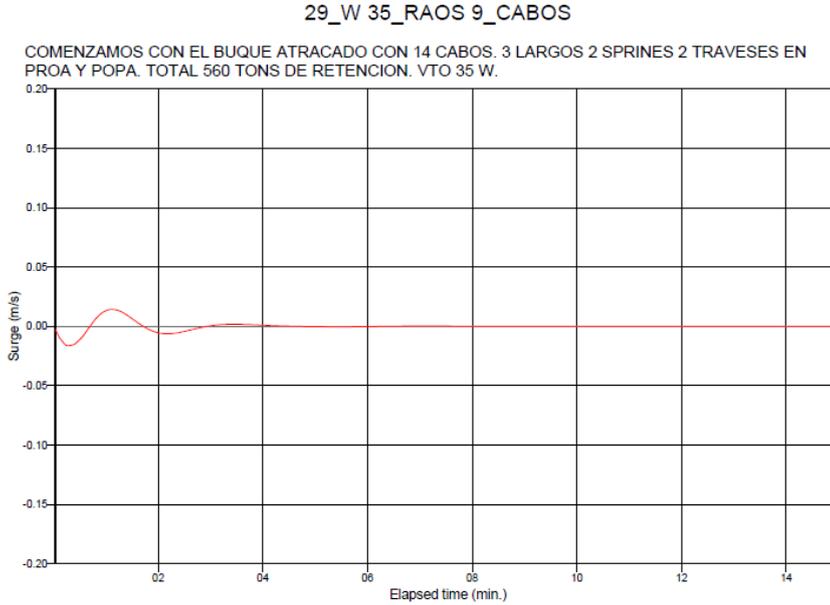
Ilustración 147. Maniobra n° 34. Escenario II Supuesto 2 Cc



Simulación: Raos 9, con 50 nudos de viento W, con cabos. Duración 15'.

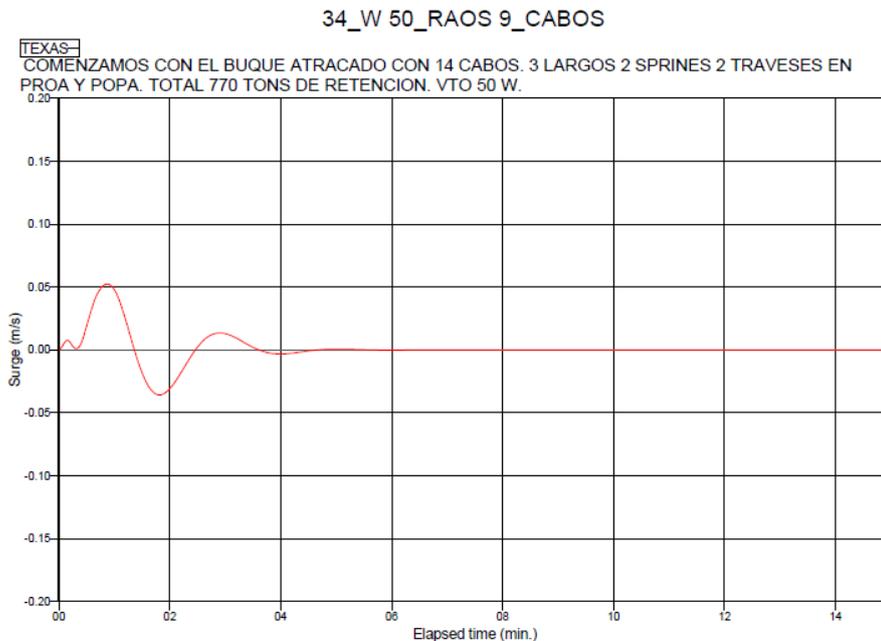
Los gráficos siguientes son la representación del movimiento de vaivén de las maniobras nº 29 y 34 con el buque atracado con cabos en raos 9 con vientos del W con 35 y 50 nudos de viento respectivamente. Se observa que el movimiento es mayor a mayor intensidad de viento.

Gráfico 29. Maniobra nº 29. Escenario II Supuesto 2 Ca



Representación del vaivén Raos 9, con 35 nudos de viento W, con cabos. 15 minutos de duración

Gráfico 30: Maniobra nº 34. Escenario II Supuesto 2 Cc



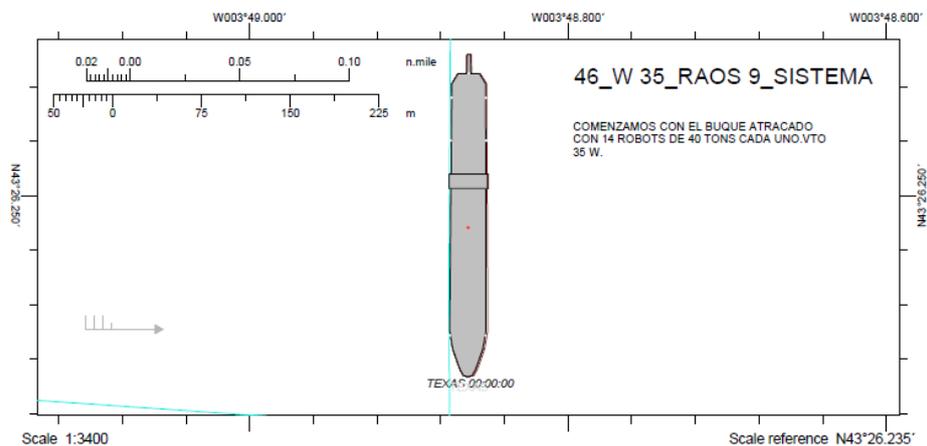
Representación del vaivén Raos 9, con 50 nudos de viento W, con cabos. 15 minutos de duración

8.5.12.- Escenario II Supuesto 3 C: Muelle Raos 9: W Sistema de amarre automático

En las siguientes maniobras partimos con el buque atracado con el sistema de amarre automático:

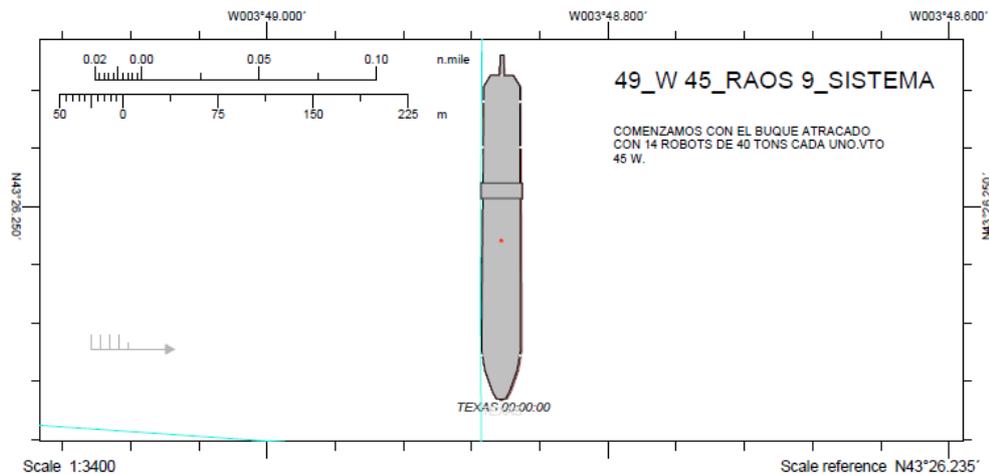
- Maniobra n° 46: Buque atracado con 14 robots de 40 toneladas de retención total 560 tons, con vientos de 35 nudos del W el barco el buque aguanta perfectamente atracado.
- Maniobra n° 49: Buque atracado también con 14 robots de 40 toneladas cada uno con vientos de 45 nudos del W el barco también aguanta sin movimientos perfectamente atracado.

Ilustración 148. Maniobra n° 46. Escenario II Supuesto 3 Ca



Simulación: Raos 9, con 35 nudos de viento W, con el sistema de amarre automático. Duración 15'.

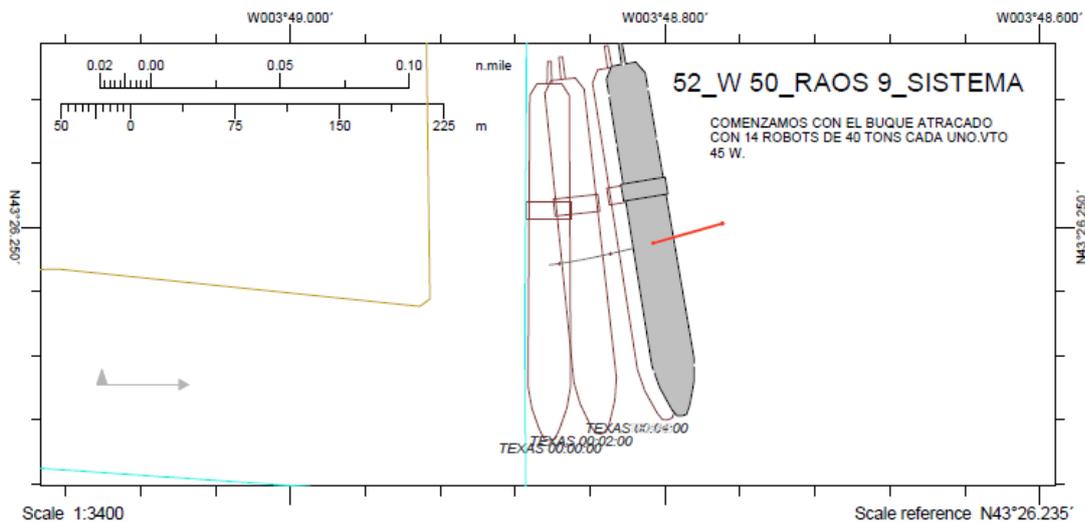
Ilustración 149. Maniobra n° 49. Escenario II Supuesto 3 Cb



Simulación: Raos 9, con 45 nudos de viento W, con el sistema de amarre automático. Duración 15'.

- Maniobra nº 52: Buque también atracado con del sistema de amarre automático con viento de 50 nudos del W. El buque no aguanta atracado comienza desatracando la proa y después la popa.

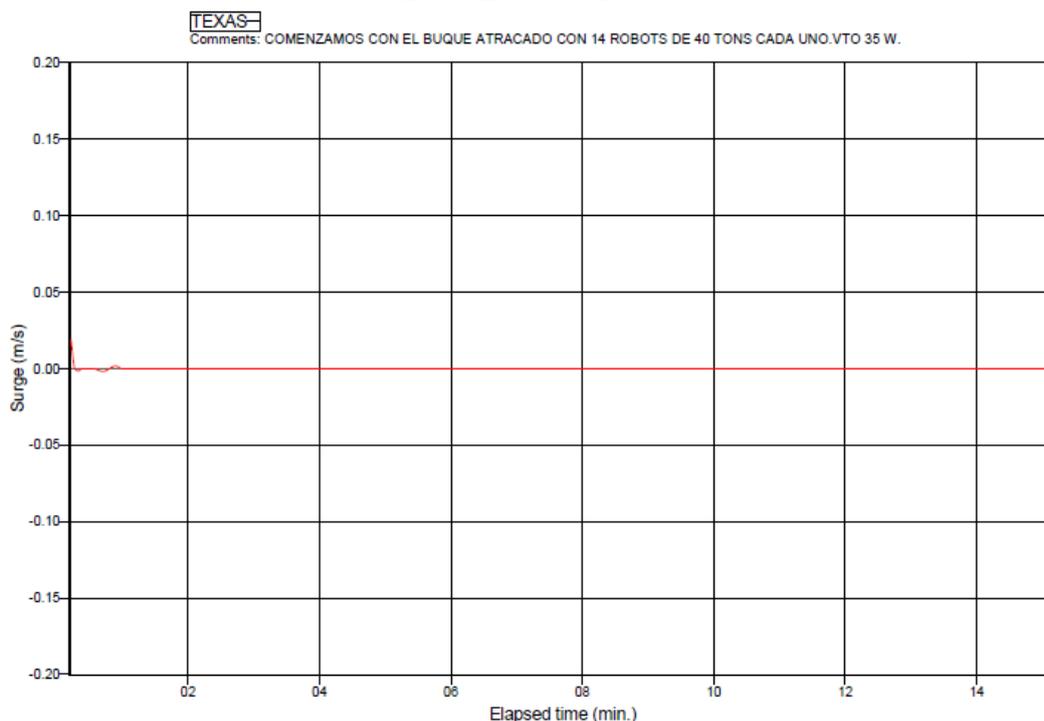
Ilustración 150. Maniobra nº 52. Escenario II Supuesto 3 Cc



Simulación: Raos 9, con 50 nudos de viento W, con el sistema de amarre automático. Duración 15'.

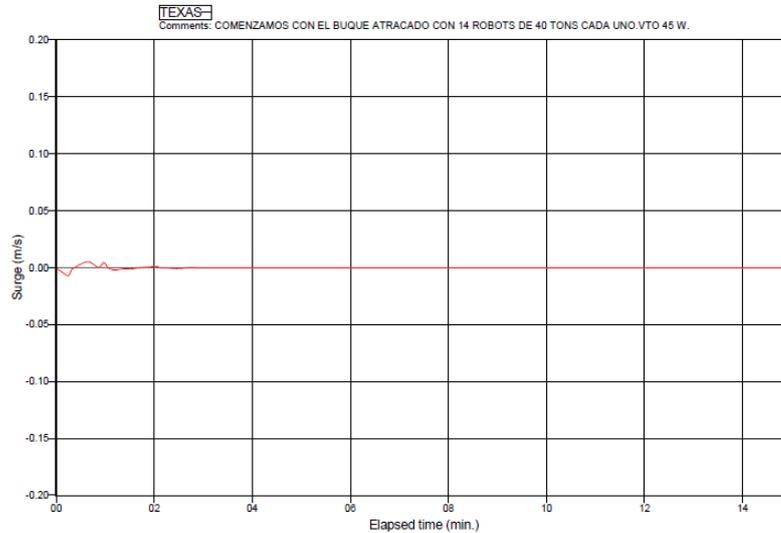
En los gráficos 31 y 32 se muestra la representación del movimiento de vaivén de las maniobras nº 46 y 49 con el buque atracado con el sistema de amarre automático en Raos 9 con vientos del W con 35 y 50 nudos de viento respectivamente.

Gráfico 31: Maniobra nº 46. Escenario II Supuesto 3 Ca
46_W 35_RAOS 9_SISTEMA



Representación del vaivén Raos 9 con 35 nudos de viento W, con el sistema. 15 minutos de duración

Gráfico 32: Maniobra n° 49. Escenario II Supuesto 3 Cb
49_W 45_RAOS 9_SISTEMA



Representación del vaivén Raos 9, con 45 nudos de viento W, con el sistema. 15 minutos de duración

Si se comparan el Gráfico 29 y con el Gráfico 31 y el Gráfico 32 se puede observar como los movimientos de vaivén con cabos son superiores a los del buque atracado con el sistema de amarre automático.

8.6.- Análisis de los resultados de la simulación

El análisis de las maniobras se ha basado en los resultados de las maniobras realizadas con el buque atracado con cabos y con el sistema de amarre automático, teniendo en consideración como ya se había comentado que las maniobras sin cabos se efectuaron para demostrar que el simulador refleja fielmente la realidad.

Tabla 63. Resumen resultados: Escenario I y II, Supuesto 1.

MUELLE	INTENSIDAD DEL VIENTO	VELOCIDAD DEL VIENTO	DURACIÓN DE LA MANIOBRA	DISTANCIA RECORRIDA	m/s	nudos
RAOS 8	SW	35	3´	190	1,06	2,05
		45	3´	200	1,11	2,16
		50	3´	225	1,25	2,43
	S	40	3´	150	0,83	1,62
		50	3´	188	1,04	2,03
		60	3´	225	1,25	2,43
RAOS 9	SW	35	3´	113	0,63	1,22
		45	3´	145	0,81	1,57
		50	3´	190	1,06	2,05
	W	35	3´	155	0,86	1,67
		45	3´	245	1,36	2,65
		50	3´	267	1,48	2,88

Velocidades alcanzadas en las simulaciones cabos en cada alternativa y opción. Fuente: Elaboración propia

8.6.1.- Escenario I A: Resultado con Viento SW en Raos 8

Teniendo en cuenta las simulaciones realizadas para esta dirección de viento y este muelle podemos concluir que es mucho más segura la estancia del buque atracado con el sistema de amarre automático que con cabos.

Con cabos necesitaríamos añadir remolcadores al costado a partir de los 35 nudos y con el sistema no sería necesario.

Si en un momento dado arreciase el viento por encima de 50 nudos con el buque amarrado con el sistema, podríamos reforzar con cabos, evitando el uso de remolcadores empujando por el costado, lo cual nos hace autosuficientes.

Tabla 64. Escenario I, supuestos 2 y 3 alternativa A

INTENSIDAD DEL VIENTO SW	TONELADAS RETENCION CABOS	TONELADAS SISTEMA 14 ROBOT
35	591	560
45	688	560
50	786	560

Resumen toneladas de retención obtenidas con las simulaciones con cabos y con el sistema, en Raos 8 con vientos del SW. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65. Escenario I, supuestos 2 y 3 alternativa A y opciones a, b y c

MARGENES DE SEGURIDAD DEL MOVIMIENTO DEL BUQUE ATRACADO EN RAOS 8	SW 35		SW 45		SW 50	
	CABOS	SISTEMA	CABOS	SISTEMA	CABOS	SISTEMA
SURGE / VAIVÉN = $\pm 0,5$ METROS	0,009	0,065	0,0035	0,0058	0,0017	0,035
SWAY / DERIVA = $\pm 0,6$ METROS	0,336	0,015	0,181	0,013	0,042	0,0067

Movimientos resultantes de las simulaciones en Raos 8 con cabos y con el sistema con viento del SW. Fuente: Elaboración propia.

8.6.2.- Escenario I B: Resultado con Viento S en Raos 8

Teniendo en cuenta las simulaciones realizadas para esta dirección de viento y este muelle podemos concluir que es mucho más segura la estancia del buque atracado con el sistema de amarre automático que con cabos.

Con cabos necesitaríamos añadir remolcadores al costado a partir de los 45 nudos y con el sistema no sería necesario.

Si en un momento dado arreciase el viento por encima de 50 nudos con el buque amarrado con el sistema, este no aguantaría pero añadiendo cabos podríamos reforzar con cabos, evitando el uso de remolcadores empujando por el costado, lo cual nos hace autosuficientes.

Tabla 66. Escenario I, supuestos 2 y 3 alternativa B opciones b, c y d

INTENSIDAD DEL VIENTO S	TONELADAS RETENCION CABOS	TONELADAS SISTEMA 14 ROBOT
45	730	560
50	760	NO AGUANTA
60	780	NO AGUANTA

Resumen toneladas de retención obtenidas con las simulaciones con cabos y con el sistema, en Raos 8 con vientos del S. Fuente: Elaboración propia

Tabla 67 Escenario I, supuestos 2 y 3 alternativa B y opciones a, b y c

MARGENES DE SEGURIDAD DEL MOVIMIENTO DEL BUQUE ATRACADO EN RAOS 8	S 45		S 50		S 60	
	CABOS	SISTEMA	CABOS	SISTEMA	CABOS	SISTEMA
SURGE / VAIVÉN = ± 0,5 METROS	0,03	0,043	0,2	X	0,05	X
SWAY / DERIVA = ± 0,6 METROS	0,418	0,187	0,1	X	0,2	X

Comparativa de los movimientos resultantes de las simulaciones en Raos 8 con el buque atracado con cabos y con el sistema con viento del S. Fuente: Elaboración propia

8.6.3.- Escenario II A: Resultado con Viento SW en Raos 9

Teniendo en cuenta las simulaciones realizadas para esta dirección de viento y este muelle podemos concluir que es mucho más segura la estancia del buque atracado con el sistema de amarre automático que con cabos.

Con cabos necesitaríamos añadir remolcadores al costado a partir de los 45 nudos y con el sistema no sería necesario.

Si en un momento dado arreciase el viento por encima de 50 nudos con el buque amarrado con el sistema, podríamos reforzar con cabos, evitando el uso de remolcadores empujando por el costado, lo cual nos hace autosuficientes.

Tabla 68. Escenario II, supuestos 2 y 3 alternativa A opciones a, b y c

INTENSIDAD DEL VIENTO SW	TONELADAS RETENCION CABOS	TONELADAS SISTEMA 14 ROBOT
35	529	560
45	620	560
50	700	560

Resumen toneladas de retención obtenidas de las simulaciones con cabos y con el sistema, en Raos 9 con vientos del SW. Fuente: Elaboración propia

Tabla 69. Escenario II, supuestos 2 y 3 alternativa A y opciones a, b y c

MARGENES DE SEGURIDAD DEL MOVIMIENTO DEL BUQUE ATRACADO EN RAOS 9	SW 35		SW 45		SW 50	
	CABOS	SISTEMA	CABOS	SISTEMA	CABOS	SISTEMA
SURGE / VAIVÉN = ± 0,5 METROS	0,024	0,065	0,038	0,058	0,002	0,035
SWAY / DERIVA = ± 0,6 METROS	0,081	0,336	0,013	0,18	0,007	0,042

Comparativa de los movimientos resultantes de las simulaciones en Raos 9 con el buque atracado con cabos y con el sistema con viento del SW. Fuente: Elaboración propia

8.6.4.- Escenario II C: Resultado con Viento W en Raos 9

Teniendo en cuenta las simulaciones realizadas para esta dirección de viento y este muelle podemos concluir que es mucho más segura la estancia del buque atracado con el sistema de amarre automático que con cabos.

Con cabos necesitaríamos añadir remolcadores al costado a partir de los 45 nudos y con el sistema no sería necesario si el viento no supera los 50 nudos.

Si en un momento dado arreciase el viento por encima de 50 nudos con el buque amarrado con el sistema, podríamos reforzar con cabos, evitando el uso de remolcadores empujando por el costado, lo cual nos hace autosuficientes.

Tabla 70. Escenario II, supuestos 2 y 3 alternativa C opciones a, b y c

INTENSIDAD DEL VIENTO W	TONELADAS RETENCION CABOS	TONELADAS SISTEMA 14 ROBOT
35	629	560
45	770	560
50	886	NO AGUANTA

Resumen toneladas de retención obtenidas con las simulaciones con cabos y con el sistema. En Raos 9 con vientos del W. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 71. Escenario II, supuestos 2 y 3 alternativa C opciones a, b y c

MARGENES DE SEGURIDAD DEL MOVIMIENTO DEL BUQUE ATRACADO EN RAOS 9	W 35		W 45		W 50	
	CABOS	SISTEMA	CABOS	SISTEMA	CABOS	SISTEMA
SURGE / VAIVÉN = ± 0,5 METROS	0,015	0,043	0,2	-0,14	0,05	X
SWAY / DERIVA = ± 0,6 METROS	0,209	0,187	0,1	0,05	0,2	X

Comparativa de los movimientos resultantes de las simulaciones en Raos 9 con el buque atracado con cabos y con el sistema con viento del W. Fuente: Elaboración propia.

8.7.- Conclusiones del estudio en el simulador

Se han monitorizado las tensiones de cabos que se necesitaban en cada momento y de aquí han salido las tensiones máximas necesarias en cada caso. Siempre se ha partido de una tensión máxima de rotura de 560 toneladas que eran los equivalentes a 14 cabos de 40 tons cada uno.

Teniendo en cuenta los resultado obtenidos de las simulaciones se puede ver en qué momento se romperán los cabos. El barco con el que hemos realizado las simulaciones utiliza cabos de Superflex trenzado de 8 cordones de 8" de diámetro con una tensión de rotura de 79 toneladas, como ya vimos en el punto 1.1.3 del primer capítulo de esta tesis.

Se han calculado los cabos necesarios si en lugar de 14 robots instalasen 10 o 6 robots. Los límites que recomienda el suministrador del sistema de amarre automático para buques de estas dimensiones son, por lo tanto a partir de estos vientos se necesitaría reforzar con cabos:

14 robots = 48 nudos de viento

10 robots = 38 nudos de viento

6 robots = 29 nudos de viento

Tras las simulaciones se han elaborado las tablas 74 y 75 que relacionan:

Número de cabos, número de robots necesarios, viento, muelle, toneladas de retención necesarias totales. Se ha configurado una combinación de los dos sistemas de amarre.

Se ha calculado el número de cabos necesarios para complementar el sistema de amarre automático si en lugar de 14 elementos de amarre sólo se instalasen 6 o 10 robots de 40 toneladas cada uno.

Tabla 72. Resultados Escenario I.

MUELLE	DIRECCION	VTO	Nº ROBOTS	POTENCIA ROBOTS	POTENCIA TOTAL NECESARIA	POTENCIA DE CABOS NECESARIA	CONDICION FINAL ROBOTS + CABOS	
RAOS 8	SW	50	14	560	770	210	14	3
			10	400		370	10	5
			6	240		530	6	7
		45	14	560	670	110	14	1
			10	400		270	10	3
			6	240		430	6	5
		35	14	560	560	0	14	0
			10	400		160	10	2
			6	240		320	6	4
	S RACHAS 10	60	14	560	780	220	14	3
			10	400		380	10	5
			6	240		540	6	7
		50	14	560	760	200	14	3
			10	400		360	10	5
			6	240		520	6	7
		45	14	560	730	170	14	2
			10	400		330	10	4
			6	240		490	6	6

Resultados en Raos 8. Buque atracado. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 73. Resultados Escenario II.

MUELLE	DIRECCION	VTO	Nº ROBOTS	POTENCIA ROBOTS	POTENCIA TOTAL NECESARIA	POTENCIA DE CABOS NECESARIA	CONDICION FINAL ROBOTS + CABOS		
RAOS 9	SW	50	14	560	700	140	14	2	
			10	400		300	10	4	
			6	240		460	6	6	
		45	14	560	620	60	14	1	
			10	400		220	10	3	
			6	240		380	6	5	
		35	14	560	529	-31	14	0	
			10	400		129	10	2	
			6	240		289	6	4	
		W	50	14	560	886	326	14	4
				10	400		486	10	6
				6	240		646	6	8
	45		14	560	770	210	14	3	
			10	400		370	10	5	
			6	240		530	6	7	
	35		14	560	629	69	14	1	
			10	400		229	10	3	
			6	240		389	6	5	

Resultados en Raos 9. Buque atracado. Elaboración propia.

A partir de estas tablas hemos establecido las siguientes relaciones matemáticas:

$$T_t = \sum_0^{N_r} R u + \sum_0^{N_c} C u = R + C \quad (18)$$

$$T_t = (N_r * R_u) + (N_c * C_u)$$

$$T_t = u * V$$

$$u = u_c + u_r$$

T_{total} = Tensión totas de retención.

$T_{robot} = R$ = Tensión de retención total de los robots que puede ser $R = R_{total}$ o $R_u = R_{unitaria}$ que en este estudio la R_u es de 40 toneladas.

$T_{cabos} = C$ = Tensión de rotura de los cabos, que también puede ser $C = C_{total}$ y C_u que en este caso es de 59 toneladas por cabo.

N_r = número de robots, que en nuestro caso son 14, 10 o 6.

N_c = número de cabos.

V = Viento en nudos.

u = Tensión de retención totales por nudo de viento

u_c = Tensión de retención de los cabos por nudo de viento.

u_r = Tensión de retención de los robots por nudo de viento.

Teniendo en cuenta estas fórmulas:

Para que el buque quede perfectamente amarrado podemos sacar las siguientes conclusiones:

Con Vientos de SW, W y en Raos 8 y 9 y este tipo de buque se necesitan unas 17 toneladas de tensión de retención por cada nudo de viento.

El número de cabos vendría dado por la expresión:

$$N_c = \frac{(Tt - (Nr * Ru))}{Cu} = \frac{(u*V) - (Nr * Ru)}{Cu} \quad (19)$$

Despejando u nos queda:

$$u = \frac{(R + C)}{V} = \frac{\sum_0^{Nr} Ru + \sum_0^{Nc} Cu}{V} \quad (20)$$

- Con vientos del través, aplicando el sistema con 14 robots y a partir de 50 nudos, el buque no aguanta atracado, situación extrema en la que se podría reforzar con cabos.
- Con vientos por la amura y por la aleta, aplicando el sistema con 14 robots, el buque aguanta sin problemas con vientos de más de 50 nudos, sin necesidad de reforzar con cabos.
- Con vientos de través el sistema de amarre automático aguanta dos nudos más de viento que los límites recomendados por el fabricante.
- Con la instalación de menos de 14 robots los límites de viento serían menores según figura en las tablas siguientes:

Siendo R_v la resultante de la acción del viento sobre el buque amarrado calculada en la página 139, apartado 5.5.1.- Cálculo de la resultante de la acción del viento sobre el buque atracado

Tabla 74. Tabla resumen de R_v , en Raos 8.

Escenario I / Raos 8 = Rumbo 95,3°

RV Toneladas	Vto.	α
515,39	NE	50,3
459,72	SW	129,7
539,54	S	84,7
133,42	W	174,7
394,96	NW	219,7
Toneladas		

Fuente: Elaboración propia.

 Tabla 75. Resumen de R_v , en Raos 9.

Escenario II/ Raos 9 = Rumbo 180°

RV Toneladas	Vto.	α
455,18	NE	135
406,01	SW	45
88,77	S	0
782,52	W	90
455,18	NW	135
Toneladas		

Fuente: Elaboración propia.

8.8- Viabilidad técnica: Beneficios

En el capítulo 6, en el apartado 6.6 se expusieron posibles beneficios de la implantación del sistema de amarre automático en el puerto de Santander, a continuación se analizan cuáles son beneficios y cuáles no lo son, después de realizar el análisis empírico.

1.- *Con la implantación del sistema de amarre automático se facilitan y agilizan las maniobras de atraque y desatraque.* Para las maniobras con el sistema convencional se necesitan de media cuarenta minutos, entre primer cabo a tierra y todo firme, y veinte para largar todo de salida y con el sistema de amarre automático solo necesitan unos veinte segundos para amarrar y diez segundos para salir, total casi una hora por escala de ahorro de tiempo.

2.- *Ahorro de las infraestructuras necesarias* en este punto no se ahorra mucho espacio entre buques. En Raos 9 solo habrá espacio para atracar un buque y en Raos 8 los barcos que atracan en este muelle son buques RoRo y siempre hay que dejar un margen de seguridad para que apoyen las rampas sobre el muelle.

3.- *Efectivamente los cambios o enmiendas de atraque se pueden realizar sin necesidad de amarradores.*

4.- *Mejora del medioambiente por la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera al reducir los tiempos de maniobra y de estancias en puerto (ver capítulo 11).*

Como se ha dicho la reducción en el tiempo de realización de las maniobras es de unos cincuenta y nueve minutos por escala.

5.- *No se necesita asistencia de amarradores:* Esto si es correcto.

6.- *Las maniobras de salida son mucho más rápidos también,* como ya se dijo en el punto 1.

7.- *Sólo se necesita un operador,* también se podría operar desde el propio buque o por el práctico.

8.- *A bordo no se necesita personal para la realización de las maniobras.* Sería aconsejable por seguridad un marinero por si hay alguna emergencia.

9.- *Al necesitar menos personal involucrada en las maniobras se reduce los riesgos de accidentes y aumenta la seguridad.*

10.- *No se necesitaría personal de refuerzo a bordo,* en caso de mal tiempo durante las guardias en puerto, para controlar el estado de las estachas y virar o arriar las mismas en caso de necesidad.

11.- *Si se reducen los costes de mantenimiento de los equipos convencionales de amarre en los buques.*

12.- Debido al ahorro de tiempo en la realización de las maniobras se produce un *ahorro de gasto de combustible (ver capítulo 11).*

13.- Como se ha visto en puntos anteriores *se reduce el tiempo invertido en la realización de las maniobras,* lo cual se traduce también en estancia en puerto.

CAPÍTULO 9.- ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO DEL SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO

A la hora de evaluar un proyecto para determinar su viabilidad económico financiera se analizan los resultados económicos de su puesta en práctica, en los escenarios previstos, y determina la posibilidad que tiene el proyecto de desarrollarse. La rentabilidad del proyecto que pretende acometerse se determina, con carácter general, con los métodos de evaluación de inversiones VAN y TIR tratados en la metodología. Con tal finalidad, se realiza una estimación de los costes y una previsión de los ingresos, así como de las cuentas que configuran el plan financiero. El plan se ha desarrollado -como es habitual- en los dos niveles básicos. Uno relativo al ciclo de capital o referido a las operaciones a largo plazo (inversiones en activos fijos y financiación básica) y otro referente al ciclo de explotación o de las operaciones corrientes (inversiones en activos circulantes a corto plazo). La instrumentación financiera de dichos ciclos económicos, se ha formalizado a través de los presupuestos de capital, de explotación y de tesorería. Finalmente se ha estimado para los dos escenarios previstos el VAN y el TIR.

9.1.- Estimación de costes

En el presente epígrafe se formalizan los resultados de la estimación que se ha realizado tanto los costes y gastos de establecimiento del sistema de amarre automático, como los directamente asociados a su proceso productivo (explotación), sin I.V.A. (21%). La estimación se ha realizado a partir de datos proporcionados por empresas que operan con sistemas de amarre similares. Todas las estimaciones se han planteado en dos escenarios diferentes -aunque complementarios-, en los cuáles se pretende desarrollar la actividad: Escenario I (terminal de RAOS 8) y Escenario IIII (terminales de RAOS 8 y 9).

9.1.1.- Costes de establecimiento

Se trata de la inversión y los gastos necesarios, para poner a punto el sistema de amarre automático, antes de que comience su explotación. Son las obras e instalaciones que deben realizarse y son susceptibles de amortización (adaptaciones estructurales,

instalaciones eléctricas, equipos y sistemas, adecuaciones externas y acondicionamiento del entorno).

Tabla 76: Estructura de los costes de establecimiento. Amortizables

ESTRUCTURA DE LOS COSTES DE ESTABLECIMIENTO (AMORTIZABLES)	ESCENARIO I	ESCENARIO III
OBRA CIVIL	1.190.000	2.380.000
OBRAS Y ADAPTACIONES PARA LA INSTALACIÓN	1.190.000	2.380.000
EQUIPOS	6.700.000	13.400.000
ROBOTS	6.700.000	13.400.000
TOTAL COSTES DE ESTABLECIMIENTO	7.890.000	15.780.000

Fuente: Elaboración propia. Cantidades en € corrientes

La Tabla muestra la estructura de dichos costes. Se trata de costes amortizables, que ascienden a 7.890.000€ en el Escenario I y 15.780.000€ en el Escenario III. Sin embargo, la empresa explotadora parte de la premisa que la Autoridad Portuaria de Santander se haga cargo de la obra de adaptación de las instalaciones. En tal sentido, la empresa explotadora únicamente amortizará los equipos que ascienden a un valor de 6.700.000€ en el Escenario I y 13.400.000 en el Escenario III, recuperando la inversión en 30 años.

9.1.2.- Costes de explotación

Una vez se hayan realizado todas las tareas y obras necesarias la/s terminal/es estará/n en condiciones de funcionar con el sistema de amarre automático. Para ello, necesariamente se tendrán que asumir una serie de costes de explotación que permitan mantener la instalación operativa.

La mayoría de los costes de explotación, salvo la gerencia o dirección y los operadores del sistema, se han externalizado con el fin de adaptarnos mejor a las variaciones de demanda. En tal sentido, los servicios de mantenimiento y reparaciones, consumos (luz, agua y teléfono) y el seguro serán atendidos por empresas y personal ajeno a la instalación. La Tabla siguiente muestra la estructura de los costes de explotación de la instalación, en los dos escenarios planteados:

Tabla 77. Estructura de los costes de explotación.

ESTRUCTURA DE LOS COSTES DE EXPLOTACIÓN	ESCENARIO I (RAOS 8)		ESCENARIO III (RAOS 8 y 9)	
	Año 2014	Año 2015	Año 2014	Año 2015
GASTOS DE ESTABLECIMIENTO	7.890.000		15.780.000	
VEHÍCULOS		18.000		18.000
PERSONAL		194.378		194.378
CONSUMO ELECTRICIDAD		244.944		489.888
CONSUMO COMBUSTIBLE		324		648
MANTENIMIENTO		60.300		107.200
SEGUROS		67.000		120.600
OTROS SERVICIOS EXTERIORES		1.200		1.200
GASTOS FINANCIEROS		268.720		536.720
TOTAL COSTES DE EXPLOTACIÓN	7.890.000	854.866	15.780.000	1.468.634

Fuente: Elaboración propia. Cantidades en € corrientes

9.2.- Gastos de Establecimiento

Los costes de establecimiento se han detallados anteriormente. Aunque la financiación de la obra y adaptación de las instalaciones no corre a cuenta de la empresa explotadora si forman parte de los gastos de establecimiento.

9.2.1.- Vehículos

Se adquirirá un vehículo para trasladarse principalmente entre terminales y desplazarse en el ámbito portuario. Se ha estimado en torno a 18.000€

9.2.2.- Personal

Se ha previsto como número de personas suficiente para atender al Sistema: Un administrador y cuatro operadores bajo las órdenes del administrador. Con ello se pretende que estén tres a turnos de 8 horas y uno de vacaciones. De acuerdo con las necesidades que vayan surgiendo y si la demanda lo requiere se podrá contratar personal adicional con carácter estacional o anual.

Los gastos de personal anuales ascienden a un total de 194.378€

El sistema implantado origina un escaso impacto directo sobre el empleo regional. Por ello, se ha previsto como análisis complementario a la viabilidad económica, la

determinación del impacto indirecto e inducido, del proyecto planteado en el empleo regional. Dicho análisis se realizará más adelante.

9.2.3.- Consumos electricidad

Teniendo en cuenta que el consumo por Robot es de 18KW/hora y de que el coste del KW es de 0,15€ se ha previsto la contratación de los siguientes consumos, en función de los escenarios planteados:

- Escenario RAOS 8. Supone la instalación de 14 ROBOTS. Coste anual del consumo eléctrico estimado ($18\text{Kw/h} * 14\text{robots} * 360 \text{ días} * 18 \text{ horas} * 0,15 \text{ €/Kw}$) = 244.944€/año
- Escenario RAOS 8 y 9. Supone la instalación de 28 ROBOTS. Coste anual del consumo eléctrico estimado ($18\text{Kw/h} * 28\text{robots} * 360 \text{ días} * 18 \text{ horas} * 0,15 \text{ €/Kw}$) = 489.888€/año

9.2.4.- Consumos Combustible

Se ha previsto que el vehículo recorra una media de 6 Km por escala y que por cada 100 Km consuma 5 litros. De acuerdo con los escenarios planteados:

- Escenario RAOS 8. Supone un total de 1.080 escalas. Coste anual del consumo de combustible estimado ($1.080 \text{ escalas} * 6 \text{ Km/escala} * 0,05 \text{ Litros/Km} * 1 \text{ €/litro}$) = 324€
- Escenario RAOS 8 y 9. Supone un total de 1.080 escalas. Coste anual del consumo de combustible estimado ($2.160.000 \text{ escalas} * 6 \text{ Km/escala} * 0,05 \text{ Litros/Km} * 1 \text{ €/litro}$) = 648€

9.2.5.- Mantenimiento

De acuerdo con contratos de mantenimiento de instalaciones similares se estima que los costes de mantenimiento y reparaciones anuales para los dos escenarios previstos son:

Escenario I: 60.300 €/año

Escenario III: 107.200 €/año

9.2.6.- Seguro

Durante los 30 años de vida del sistema de amarre automático se contratará una póliza de seguros que será diferente para los dos escenarios previstos:

Escenario I (Póliza para RAOS 8):	67.000€año
Escenario III (Póliza para RAOS 8 y 9):	120.600€año

9.2.7.- Otros servicios exteriores (Internet, Teléfono y Agua)

Se ha previsto la contratación y estimación de los siguientes servicios y consumos:

- Consumo de Agua mensual (1m³ día) (30€mes)
- Contrato y consumo de teléfono fijo, móvil e internet (70€mes)

Coste Total anual estimado (30€mes*12 meses+70€mes*12 meses)= 1.200€

9.2.8.- Gastos Financieros

Los costes iniciales de establecimiento pretenden financiarse con cargo a dos fuentes diferentes. Los equipos (robots) se financiarán con un préstamo y las obras de adaptación con cargo a la Autoridad Portuaria.

Aunque las condiciones del crédito serán motivo de negociación por parte de la empresa explotadora del sistema de amarre automático, de acuerdo con las consultas realizadas, actualmente es posible conseguirlo al 4% de interés y a devolver en un plazo no superior a 30 años. En los escenarios previstos se aplicará el método Francés de amortización financiera de anualidad constante.

Escenario I (RAOS 8). Se plantea una amortización de 14 robots con los siguientes datos y cuadro de amortización financiera:

Tabla 78. Amortización financiera equipos. Escenario I.

CUADRO DE AMORTIZACIÓN FINANCIERA (6.700.000€EQUIPOS RAOS8)					
nº años	Capital pendiente comienzo año	Anualidad	Intereses (Gastos Financieros)	Amortización período	Amortización acumulada
1	6.700.000	387.462	268.000	119.462	119.462
2	6.580.538	387.462	263.222	124.240	243.702
3	6.456.298	387.462	258.252	129.210	372.912
4	6.327.088	387.462	253.084	134.378	507.290
5	6.192.710	387.462	247.708	139.753	647.043
6	6.052.957	387.462	242.118	145.343	792.386
7	5.907.614	387.462	236.305	151.157	943.543
8	5.756.457	387.462	230.258	157.203	1.100.747
9	5.599.253	387.462	223.970	163.492	1.264.238
10	5.435.762	387.462	217.430	170.031	1.434.270
11	5.265.730	387.462	210.629	176.832	1.611.102
12	5.088.898	387.462	203.556	183.906	1.795.008
13	4.904.992	387.462	196.200	191.262	1.986.270
14	4.713.730	387.462	188.549	198.912	2.185.182
15	4.514.818	387.462	180.593	206.869	2.392.051
16	4.307.949	387.462	172.318	215.144	2.607.195
17	4.092.805	387.462	163.712	223.749	2.830.944
18	3.869.056	387.462	154.762	232.699	3.063.644
19	3.636.356	387.462	145.454	242.007	3.305.651
20	3.394.349	387.462	135.774	251.688	3.557.339
21	3.142.661	387.462	125.706	261.755	3.819.094
22	2.880.906	387.462	115.236	272.225	4.091.319
23	2.608.681	387.462	104.347	283.114	4.374.434
24	2.325.566	387.462	93.023	294.439	4.668.873
25	2.031.127	387.462	81.245	306.217	4.975.090
26	1.724.910	387.462	68.996	318.465	5.293.555
27	1.406.445	387.462	56.258	331.204	5.624.759
28	1.075.241	387.462	43.010	344.452	5.969.211
29	730.789	387.462	29.232	358.230	6.327.441
30	372.559	387.462	14.902	372.559	6.700.000

Cantidades en € corrientes. Fuente: Elaboración propia.

Escenario III (RAOS 8 y 9. Se plantea una amortización de 28 robots con los siguientes datos y cuadro de amortización financiera

Tabla 79. Amortización financiera equipos. Escenario III.

CUADRO DE AMORTIZACIÓN FINANCIERA (13.400.000€EQUIPOS RAOS8 y 9)					
nº años	Capital pendiente comienzo año	Anualidad	Intereses (Gastos Financieros)	Amortización período	Amortización acumulada
1	13.400.000	774.923	536.000	238.923	238.923
2	13.161.077	774.923	526.443	248.480	487.404
3	12.912.596	774.923	516.504	258.419	745.823
4	12.654.177	774.923	506.167	268.756	1.014.579
5	12.385.421	774.923	495.417	279.507	1.294.086
6	12.105.914	774.923	484.237	290.687	1.584.773
7	11.815.227	774.923	472.609	302.314	1.887.087
8	11.512.913	774.923	460.517	314.407	2.201.494
9	11.198.506	774.923	447.940	326.983	2.528.477
10	10.871.523	774.923	434.861	340.062	2.868.539
11	10.531.461	774.923	421.258	353.665	3.222.204
12	10.177.796	774.923	407.112	367.811	3.590.015
13	9.809.985	774.923	392.399	382.524	3.972.539
14	9.427.461	774.923	377.098	397.825	4.370.364
15	9.029.636	774.923	361.185	413.738	4.784.102
16	8.615.898	774.923	344.636	430.287	5.214.390
17	8.185.610	774.923	327.424	447.499	5.661.889
18	7.738.111	774.923	309.524	465.399	6.127.287
19	7.272.713	774.923	290.909	484.015	6.611.302
20	6.788.698	774.923	271.548	503.375	7.114.678
21	6.285.322	774.923	251.413	523.510	7.638.188
22	5.761.812	774.923	230.472	544.451	8.182.639
23	5.217.361	774.923	208.694	566.229	8.748.868
24	4.651.132	774.923	186.045	588.878	9.337.746
25	4.062.254	774.923	162.490	612.433	9.950.179
26	3.449.821	774.923	137.993	636.930	10.587.110
27	2.812.890	774.923	112.516	662.408	11.249.517
28	2.150.483	774.923	86.019	688.904	11.938.421
29	1.461.579	774.923	58.463	716.460	12.654.881
30	745.119	774.923	29.805	745.119	13.400.000

Cantidades en € corrientes. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 80. Amortización financiera. Vehículo.

CUADRO DE AMORTIZACIÓN FINANCIERA (18.000€VEHÍCULO)					
nº años	Capital pendiente comienzo año	Anualidad	Intereses (Gastos Financieros)	Amortización período	Amortización acumulada
1	18.000	2.219	720	1.499	1.499
2	16.501	2.219	660	1.559	3.058
3	14.942	2.219	598	1.622	4.680
4	13.320	2.219	533	1.686	6.366
5	11.634	2.219	465	1.754	8.120
6	9.880	2.219	395	1.824	9.944
7	8.056	2.219	322	1.897	11.841
8	6.159	2.219	246	1.973	13.814
9	4.186	2.219	167	2.052	15.866
10	2.134	2.219	85	2.134	18.000

Cantidades en € corrientes. Fuente: Elaboración propia.

9.2.9.- Amortización

Parte de los costes de establecimiento y de explotación se corresponden con obras y equipos susceptibles de amortización, tal y como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 81. Amortización financiera anual. Escenario I y III.

CUADRO DE INVERSIONES (AMORTIZACIONES ANUALES)			
Obras, instalaciones y equipos		Escenario I	Escenario III
COSTES	EQUIPOS	219.983	439.967
ESTABLECIMIENTO	OBRAS CIVIL	39.072	78.143
VEHÍCULO		1.773	1.773
TOTAL INVERSIONES		260.828	519.883

Cantidades en € corrientes. Fuente: Elaboración propia.

Se ha utilizado el criterio de amortización lineal con valor residual del 15% del valor de adquisición. La obra y los equipos se amortizarán en 30 años, el vehículo en 10 años.

9.3.- Ingresos y fuentes de financiación

Los ingresos y fuentes de financiación previstos para desarrollar la actividad del Sistema de amarre automático tienen tres orígenes claramente diferenciados:

9.3.1.- Venta de servicios de atraque

Se han estimado, para los escenarios previstos, los siguientes ingresos anuales por tarifas de utilización del sistema de amarre automático, bajo el supuesto de 3 escalas diarias por terminal.

Ingresos Escenario I: 1.080.000 €/año

Ingresos Escenario I: 2.160.000 €/año

9.3.2.- Subvención Autoridad Portuaria de Santander

Se prevé obtener una subvención para financiar la obra civil de adaptación de los equipos a las terminales, que variará en función de los escenarios previstos:

Subvención Escenario I: 1.190.000 €

Subvención Escenario I: 2.380.000 €

9.3.3.- Créditos

Se solicitará un crédito para la adquisición de los equipos, cuya cuantía y características dependerá del escenario previsto:

Crédito Escenario I:

Tabla 82. Coste de equipos. Escenario I.

Coste Equipos RAOS 8	6.700.000
Crédito	6.700.000
Tipo interés (4%)	0,04
Tiempo	30
a/ni	17,2920333
Anualidad Amortización Financiera	387.462

Cantidades en € corrientes. Fuente: Elaboración propia

Crédito Escenario III:

Tabla 83. Coste de equipos. Escenario III.

Coste Equipos RAOS 8 y 9	13.400.000
Crédito	13.400.000
Tipo interés (4%)	0,04
Tiempo	30
a/ni	17,2920333
Anualidad Amortización Financiera	774.923

Cantidades en € corrientes. Fuente: Elaboración propia.

9.4.- Presupuesto de capital

La puesta en funcionamiento del sistema de amarre automático supone una inversión (costes de establecimiento) que asciende a un total de 926.527€ Los costes de explotación para el primer año son de 327.898€ con un incremento anual previsto del 1%.

La financiación del proyecto se pretende efectuar en base a una subvención de la Autoridad Portuaria de Santander y la captación de recursos externos ajenos.

La subvención de la Autoridad Portuaria de Santander, se pretenden obtener para financiar la obra de adaptación de los muelles a los sistemas automáticos de amarre.

Los recursos financieros externos ajenos. Se pretende obtener un crédito a largo plazo para financiar el 100% de la adquisición de los equipos. Se ha previsto un plazo de amortización del crédito de 30 años a un interés anual del 4,0%. No obstante, en el momento de la negociación del crédito pueden plantearse otras opciones que supongan un tratamiento singular del proyecto.

9.5.- Presupuesto de explotación

Se presenta el presupuesto de explotación previsional a 30. El presupuesto de explotación previsional, muestra la situación prevista de los resultados de explotación de acuerdo con la estimación de costes e ingresos potenciales estimados en los escenarios previstos:

I (Tabla 84)

III (Tabla 85)

9.6.- Presupuesto de tesorería

El presupuesto de tesorería muestra la evolución de los flujos reales de entradas y salidas, en los Escenarios I y II. No ha sido preciso ajustar los flujos de entrada en ninguno de los escenarios, ya que dichos flujos pueden atender los costes de explotación y las deudas financieras contraídas durante los primeros años del proyecto, tal y como se indica en la Tabla 86 del escenario I y Tabla 87 del escenario III.

9.7.- Rentabilidad de la inversión

La rentabilidad de la inversión en las terminales portuarias se ha estimado de acuerdo con los criterios VAN y TIR para los dos escenarios previstos. En ambos casos se han realizado las estimaciones bajo el supuesto de pleno empleo de las terminales.

Escenario I: La inversión no es rentable. El proyecto de una terminal no es viable y debe rechazarse, aunque se han considerado ingresos medios bajos en relación al tráfico que se pretende captar, con el fin de plantear condiciones más restrictivas.

$$\text{TIR} = -0,46\%$$

$$\text{VAN} = -736.304 \text{ €}$$

Escenario III: La inversión es rentable tanto en términos absolutos como relativos, por lo que puede efectuarse.

$$\text{TIR} = 2,5\%$$

$$\text{VAN} = 1.023.940 \text{ €}$$

La inversión en dos terminales permite desarrollar economías de escala operativas.

Tabla 84. Presupuesto de explotación previsional (2014-44).

CONCEPTOS	2014	2015	2016	2020	2040	2044
TARIFAS DE ATRAQUE		1.080.000	1.090.800	1.135.091	1.253.846	1.385.027
CREDITOS	6.700.000	18.000				
SUBVENCIÓN PORTUARIA	1.190.000					
TOTAL INGRESOS	7.890.000	1.098.000	1.090.800	1.135.091	1.253.846	1.385.027
COSTES						
EQUIPOS (14 ROBOTS)	6.700.000					
OBRA CIVIL	1.190.000					
COSTES ESTABLECIMIENTO	7.890.000					
MANTENIMIENTO		60.300	60.903	63.376	70.006	77.331
CONSUMO ELECTRICIDAD		244.944	247.393	257.439	284.372	314.124
CONSUMO COMBUSTIBLE		324	327	341	376	416
PERSONAL		194.378	196.322	204.293	225.667	249.277
SEGUROS		67.000	67.670	70.418	77.785	85.923
OTROS SERVICIOS EXTERIORES		1.200	1.212	1.261	1.393	1.539
GASTOS FINANCIEROS		268.720	263.882	242.513	172.318	68.996
TOTAL COSTES EXPLOTACIÓN		836.866	837.709	839.641	831.918	797.605
TOTAL COSTES	7.890.000	836.866	837.709	839.641	831.918	797.605
RESULTADOS BRUTOS		261.134	253.091	295.450	421.929	587.422
AMORTIZACIÓN		120.961	125.799	147.167	215.144	318.465
RESULTADOS NETOS		140.173	127.292	148.283	206.785	268.956

Escenario I. Cantidades en € corrientes. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 85: Presupuesto de explotación previsional (2014-44).

CONCEPTOS	2014	2015	2016	2020	2040	2044
TARIFAS DE ATRAQUE		2.160.000	2.181.600	2.270.182	2.507.693	2.770.053
CREDITOS	13.400.000	18.000				
SUBVENCIÓN PORTUARIA	2.380.000					
TOTAL INGRESOS	15.780.000	2.178.000	2.181.600	2.270.182	2.507.693	2.770.053
COSTES						
EQUIPOS (28 ROBOTS)	13.400.000					
OBRA CIVIL	2.380.000					
COSTES ESTABLECIMIENTO	15.780.000					
MANTENIMIENTO		107.200	108.272	112.668	124.456	137.477
CONSUMO ELECTRICIDAD		489.888	494.787	514.877	568.745	628.248
CONSUMO COMBUSTIBLE		648	654	681	752	831
PERSONAL		194.378	196.322	204.293	225.667	249.277
SEGUROS		120.600	121.806	126.752	140.013	154.661
OTROS SERVICIOS EXTERIORES		1.200	1.212	1.261	1.393	1.539
GASTOS FINANCIEROS		536.720	527.103	484.632	344.636	162.490
TOTALCOSTES EXPLOTACIÓN		1.450.634	1.450.156	1.445.165	1.405.662	1.334.523
TOTAL COSTES	15.780.000	1.450.634	1.450.156	1.445.165	1.405.662	1.334.523
RESULTADOS BRUTOS		727.366	731.444	825.017	1.102.031	1.435.530
Amortización		441.740	441.740	441.740	441.740	441.740
RESULTADOS NETOS		285.626	289.704	383.277	660.292	993.791

Escenario III. Cantidades en € corrientes. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 86: Presupuesto de tesorería previsional (2014-44).

CONCEPTOS	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
SALDO INICIAL (A)			140.173	267.465	399.926	537.609	680.565
FLUJOS DE ENTRADA (B)	7.890.000	1.098.000	1.090.800	1.101.708	1.112.725	1.123.852	1.135.091
TARIFAS DE ATRAQUE		1.080.000	1.090.800	1.101.708	1.112.725	1.123.852	1.135.091
SUBVENCIÓN PORTUARIA	1.190.000						
CREDITOS	6.700.000	18.000					
FLUJOS DE SALIDA (C)	7.890.000	957.827	963.508	969.247	975.042	980.896	986.808
ESTABLECIMIENTO	7.890.000						
MANTENIMIENTO		60.300	60.903	61.512	62.127	62.748	63.376
CONSUMO ELECTRICIDAD		244.944	247.393	249.867	252.366	254.890	257.439
CONSUMO COMBUSTIBLE		324	327	331	334	337	341
PERSONAL		194.378	196.322	198.285	200.268	202.271	204.293
SEGUROS		67.000	67.670	68.347	69.030	69.720	70.418
OTROS SERVICIOS EXTERIORES		1.200	1.212	1.224	1.236	1.249	1.261
GASTOS FINANCIEROS		268.720	263.882	258.850	253.616	248.174	242.513
DEVOLUCIÓN DEL PRINCIPAL		120.961	125.799	130.831	136.065	141.507	147.167
SALDO FINAL (A+B-C)		140.173	267.465	399.926	537.609	680.565	828.848

Escenario I. Cantidades en € corrientes. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 87: Presupuesto de tesorería previsional (2014-44).

CONCEPTOS	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
SALDO INICIAL (A)			486.943	968.348	1.462.337	1.969.039	2.488.578
FLUJOS DE ENTRADA (B)	15.780.000	2.178.000	2.181.600	2.203.416	2.225.450	2.247.705	2.270.182
TARIFAS DE ATRAQUE		2.160.000	2.181.600	2.203.416	2.225.450	2.247.705	2.270.182
SUBVENCIÓN PORTUARIA	2.380.000						
CREDITOS	13.400.000	18.000					
FLUJOS DE SALIDA (C)	15.780.000	1.691.057	1.700.196	1.709.426	1.718.749	1.728.165	1.737.675
ESTABLECIMIENTO	15.780.000						
MANTENIMIENTO		107.200	108.272	109.355	110.448	111.553	112.668
CONSUMO ELECTRICIDAD		489.888	494.787	499.735	504.732	509.779	514.877
CONSUMO COMBUSTIBLE		648	654	661	668	674	681
PERSONAL		194.378	196.322	198.285	200.268	202.271	204.293
SEGUROS		120.600	121.806	123.024	124.254	125.497	126.752
OTROS SERVICIOS EXTERIORES		1.200	1.212	1.224	1.236	1.249	1.261
GASTOS FINANCIEROS		536.720	527.103	517.102	506.700	495.882	484.632
DEVOLUCIÓN DEL PRINCIPAL		240.423	250.039	260.041	270.443	281.260	292.511
SALDO FINAL (A+B-C)		486.943	968.348	1.462.337	1.969.039	2.488.578	3.021.084

Escenario III. Cantidades en € corrientes. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 10.- IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS DE LA IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA DE AMARRE AUTOMÁTICO EN CANTABRIA (2014)

El objetivo del presente capítulo es analizar el impacto originado por la implantación del sistema automático de amarre en el puerto de Santander. Se pretende determinar los efectos socioeconómicos que origina dicha infraestructura en la economía regional de Cantabria. Con tal finalidad, centramos nuestra atención en dos instrumentos fundamentales en la consecución de los objetivos del presente trabajo.

El primer lugar la tabla input-output regional de 2007, dicha herramienta analítica fundamental nos va a permitir conocer, entre otros aspectos, la estructura productiva de una región, el peso relativo de las diferentes ramas de actividad y su valor añadido. La TIO se ha simplificado para racionalizar el análisis.

En segundo lugar se formalizan los vectores de gasto e inversión originados por el sistema automático de amarre y los impactos interiores y totales, en la Comunidad Autónoma de Cantabria. Se han previsto dos escenarios diferentes. El escenario I plantea el desarrollo de un único ataque (RAOS 8) y el Escenario III plantea el desarrollo de dos ataques (RAOS 8 y RAOS 9).

10.1.- Tabla input-output simétrica de Cantabria 2007 (10*10) simplificada.

La metodología input-output permite a través del modelo de demanda calcular los impactos del consumo turístico sobre los diferentes sectores económicos. Para implementar dicha metodología en Cantabria, en el presente trabajo hemos simplificado la TIOCAN-2007 pasando de 54 ramas a El proceso reducción indicado sólo afectará a la matriz de consumo o demanda intermedia. Las matrices de inputs primarios y demanda final permanecerán inalterados.

a) Matriz interindustrial

Tabla 88. Matriz de demanda intermedia

TABLA INPUT-OUTPUT DE CANTABRIA 2007 (10*10)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Agricultura	Producción energía	Bienes Intermedios	Bienes de Equipo	Bienes de Consumo	Construcción	Transportes y Comunicaciones	Hostelería	Otros Serv. de Mercado	Otros Serv. de no Mercado	Total output intermedios
1	Agricultura	30493	373	3046	0	177324	1044	278	45583	7157	564	265862
2	Producción energía	6141	231840	778984	70909	54083	15638	16287	31339	84061	101449	1390731
3	Bienes Intermedios	13737	14797	301578	368606	90515	550052	5125	14651	39811	86012	1484884
4	Bienes de Equipo	1310	12367	92881	794537	46886	164756	40543	4491	90446	18509	1266726
5	Bienes de Consumo	100442	81251	333492	128731	527144	148100	152701	218028	145171	68221	1903281
6	Construcción	1453	22953	26756	21487	5107	1012177	26153	8634	58453	19750	1202923
7	Transportes y Comunicaciones	9631	16886	196307	89697	119028	56803	296415	17022	179138	56363	1037290
8	Hostelería	36	1235	2609	10936	7390	10762	15679	13016	38176	28305	128144
9	Otros Serv. de Mercado	27253	57706	267356	355538	271096	489250	296420	186382	990936	270771	3212708
10	Otros Serv. de no Mercado	250	923	533	1621	2057	665	458	919	7325	98020	112771
11	Total empleos a precios básicos	190744	440329	2003543	1842063	1300639	2449247	850064	540065	1640678	747961	12005333

Cantidades en miles de €. Fuente: Elaboración propia

b) Matriz de inputs primarios

Tabla 89. Matriz de inputs primarios

TABLA INPUT-OUTPUT DE CANTABRIA 2007 (10*10)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Agricultura	Producción energía	Bienes Intermedios	Bienes de Equipo	Bienes de Consumo	Construcción	Transportes y Comunicaciones	Hostelería	Otros Serv. de Mercado	Otros Serv. de no Mercado	Total output intermedios
11	Total empleos a precios básicos	190744	440329	2003543	1842063	1300639	2449247	850064	540065	1640678	747961	12005333
12	Impuestos netos sobre los productos	837	18108	31603	23489	7954	16226	21067	18848	56213	77112	271457
13	Total de empleos a precios de adquisición	191581	458437	2035146	1865553	1308592	2465472	871131	558913	1696891	825074	12276790
14	Remuneración de asalariados	38727	77874	308485	498653	407644	735824	273979	229556	1448180	1660964	5679886
15	Otros impuestos netos sobre la producción	-29250	3507	3383	3283	4074	36016	12281	2293	-8606	-6323	20658
16	Excedente bruto de explotación/Renta mixta	303580	167694	331804	263324	194087	743376	356665	554289	2803801	214653	5933273
17	Valor añadido bruto a precios básicos	313056	249074	643672	765260	605805	1515216	642927	786137	4243376	1869294	11633817
18	Producción a precios básicos	504637	707512	2678818	2630812	1914396	3980688	1514057	1345051	5940267	2694367	23910605

Cantidades en miles de €. Fuente: Elaboración propia

La matriz de inputs primarios nos ha proporcionado algunos vectores que hemos utilizado para determinar los impactos sobre diversas macro magnitudes. Dichos vectores definen las relaciones en forma de coeficientes entre la magnitud en cuestión y la producción. En tal sentido, hemos determinado las matrices de coeficientes del valor añadido bruto (VAB), excedente bruto de explotación (EBE), remuneración de asalariados (RA) y empleo (E).

c) Matriz de demanda final

Tabla 90. Matriz de demanda final

TABLA INPUT-OUTPUT DE CANTABRIA 2007 (10*10)		11	12	13	14	15	16	17	18	19
		Total demanda intermedia	Gasto consumo final	Formación bruta de capital	Formación bruta de capital fijo	Variación de existencias	Total exportaciones	Exportaciones Resto España.	Total demanda final	Total empleos
1	Agricultura	265862	153901	1325	1057	267	319661	305680	474885	740745
2	Producción energía	1390731	203190	3257	0	3257	3584	2318	210030	1600764
3	Bienes Intermedios	1484884	190050	53849	136	53713	2307997	1365479	2551897	4036786
4	Bienes de Equipo	1266726	450743	687876	694453	-6575	2010737	1264495	3149356	4416090
5	Bienes de Consumo	1903281	1340873	54830	49160	5669	1303190	998560	2698889	4602180
6	Construcción	1202923	86074	2691689	2691689	0	0	0	2777763	3980688
7	Transportes y Comunicaciones	1037290	230301	5643	5024	619	504292	393135	740236	1777526
8	Hostelería	128144	1216910	0	0	0	0	0	1216910	1345051
9	Otros Serv. de Mercado	3212708	3320784	549115	548805	310	357108	327842	4227005	7439706
10	Otros Serv. de no Mercado	112771	2609844	0	0	0	0	0	2609844	2722611
11	Total empleos a precios básicos	12005333	9802667	4047582	3990323	57258	6806569	4657508	20656817	32662149

Cantidades en miles de €. Fuente: Elaboración propia

Se han utilizado los siguientes deflatores para impactar los vectores de gasto e inversión originados en 2014.

Tabla 91. Deflatores base 2007

CONCEPTOS	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Alojamiento	100,00	103,18	101,97	102,70	104,84	107,27	103,48	103,71
Alimentación	100,00	106,01	104,60	103,36	104,61	106,70	111,12	110,12
Restaurantes	100,00	104,61	106,82	107,93	110,31	111,33	112,33	112,38
Excursiones	100,00	103,54	107,66	108,92	111,62	114,80	119,00	117,39
Alquiler vehículos	100,00	99,36	95,55	94,47	97,26	98,37	96,41	97,23
Transportes públicos	100,00	105,88	110,31	112,37	115,50	120,37	125,68	127,77

Elaboración propia. Fuente: INE

10.2.- Estructura del gasto y la inversión del sistema automático de amarre en Cantabria, por conceptos.

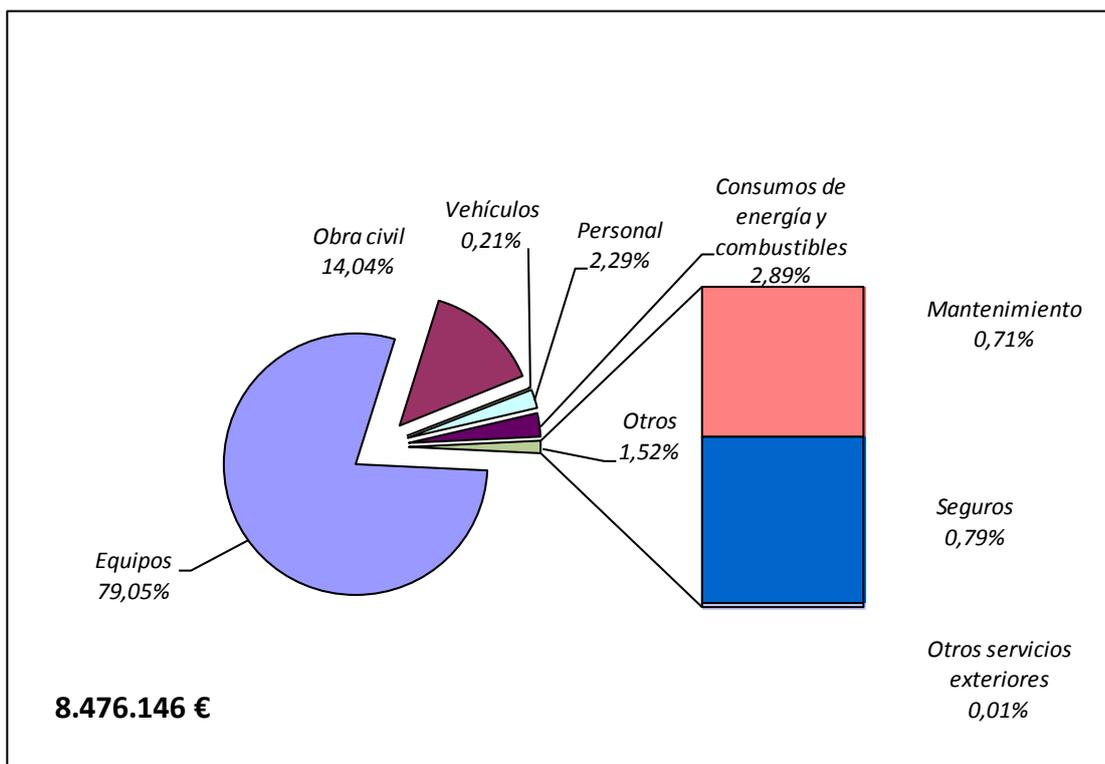
La estructura del gasto del sistema automático de amarre, en los escenarios previstos, que ya fue estimada al determinar la viabilidad económica financiera de la implantación del sistema en el puerto de Santander, se muestra en la siguiente Tabla y

las gráficas siguientes representan los gastos en los dos escenarios previstos, respectivamente.

Tabla 92. Estructura de gasto originado por el sistema automático

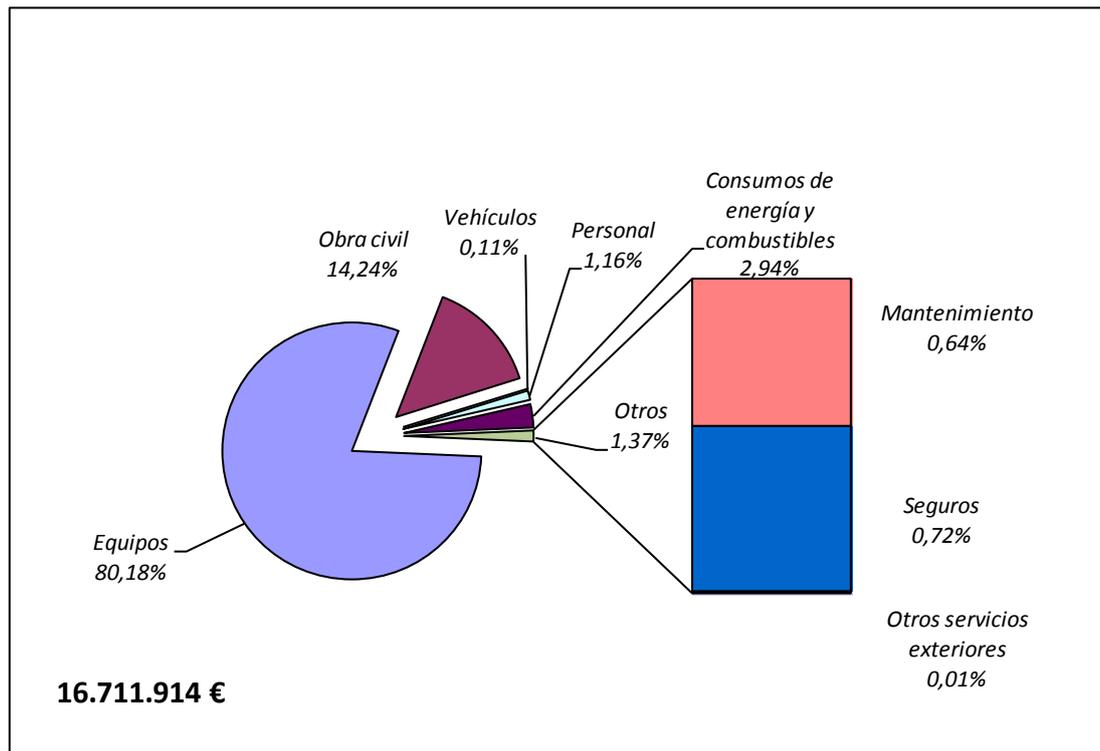
GASTO E INVERSIÓN	ESCENARIO I (RAOS 8)	ESCENARIO III (RAOS 8 y 9)
Equipos	6.700.000	13.400.000
Obra civil	1.190.000	2.380.000
Vehículos	18.000	18.000
Personal	194.378	194.378
Consumos de energía y combustibles	245.268	490.536
Mantenimiento	60.300	107.200
Seguros	67.000	120.600
Otros servicios exteriores	1.200	1.200
TOTAL	8.476.146	16.711.914

Gráfico 33. Gastos en el escenario I



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 34. Gastos en el escenario III



Fuente: Elaboración propia

10.3.- Vectores de gasto del sistema automático de amarre en Cantabria, por ramas de actividad

Con el fin de poder determinar los impactos, de los escenarios previstos, en la Comunidad Autónoma (CA), en el presente apartado formalizamos la estructura del gasto deflactado y el consumo neto, por sectores económicos de actividad (descontadas las fugas iniciales).

Tabla 93. Vectores de gasto originado por el sistema automático de amarre en Cantabria, por sectores económicos y escenarios previstos

SECTORES ECONÓMICOS	EFECTOS ESCENARIO I			EFECTOS ESCENARIO III		
	€ corrientes 2014	Deflatores base 2007	€ 2014 base 2007	€ corrientes 2014	Deflatores base 2007	€ 2014 base 2007
Agricultura y Pesca	0	0	0	0	0	0
Energía	245.268	145	169.168	490.536	145	338.337
Bienes intermedios	30.750	96	31.940	54.200	96	56.266
Bienes de equipo	6.718.000	112	5.993.354	13.418.000	112	11.970.649
Bienes de consumo	0	0	0	0	0	0
Construcción	1.190.000	114	1.043.966	2.380.000	114	2.087.932
Transportes	194.378	96	201.642	194.378	96	201.642
Hostelería	0	0	0	0	0	0
Otros Serv. de Mercado	97.750	96	101.444	174.800	96	181.373
Otros Serv. de no Mercado	0	0	0	0	0	0
Total sectores	8.476.146		7.541.514	16.711.914		14.836.199

Fuente: Elaboración propia

Tabla 94. Vectores de consumo neto del gasto originado por el sistema automático de amarre en Cantabria, por sectores económicos y escenarios previstos

SECTORES ECONÓMICOS	EFECTOS ESCENARIO I			EFECTOS ESCENARIO III		
	€ 2014 base 2007	Fugas iniciales	Consumo Neto	€ 2014 base 2007	Fugas iniciales	Consumo Neto
Agricultura y Pesca	0	0	0	0	0	0
Energía	169.168	0	169.168	338.337	0	338.337
Bienes intermedios	31.940	0	31.940	56.266	0	56.266
Bienes de equipo	5.993.354	0	5.993.354	11.970.649	0	11.970.649
Bienes de consumo	0	0	0	0	0	0
Construcción	1.043.966	0	1.043.966	2.087.932	0	2.087.932
Transportes	201.642	60.493	141.150	201.642	60.493	141.150
Hostelería	0	0	0	0	0	0
Otros Serv. de Mercado	101.444	25.361	76.083	181.373	45.343	136.030
Otros Serv. de no Mercado	0	0	0	0	0	0
Total sectores	7.541.514	85.854	7.455.660	14.836.199	105.836	14.730.363

Fuente: Elaboración propia

10.4.- Impacto interior del sistema automático de amarre en Cantabria (2014)

En el presente epígrafe se formalizan los impactos originados por la inversión y el gasto del sistema automático de amarre en el puerto de Santander en 2014.

Los multiplicadores y efectos se han calculado sobre el valor añadido bruto a precios básico (VAB_{pb}), lo que nos ha permitido establecer la contribución de la actividad al VAB ; el excedente bruto de explotación (EBE); la remuneración de asalariados (RA); y el empleo.

En los impactos estimados, únicamente intervienen los consumos intermedios proporcionados por empresas residentes ya que son los verdaderamente relevantes. Asimismo, se han determinado tanto las fugas iniciales, como las fugas del efecto multiplicador.

10.4.1. Impactos sobre la producción interior

La demanda originada por la implantación del sistema automático de amarre en Cantabria presenta un efecto multiplicador sobre la producción interior del 137,31% en el escenario I y del 137,76% en el Escenario III. Veamos que supone:

- a) **Escenario I.** Por cada 100 euros gastados por el sistema implantado, interiormente se producirían 137,31€ 98,86€ por efectos directos y 38,45€ por efectos indirectos. En dicho supuesto las fugas iniciales (por importación de productos finales equivalentes) serían de un 1,14% y las fugas del efecto multiplicador (por importación de consumos intermedios) de un 122,68%.
- b) **Escenario III.** Por cada 100 euros gastados por el sistema implantado, interiormente se producirían 137,76€ 99,29€ por efectos directos y 38,47€ por efectos indirectos.

Los efectos sobre la producción interior, originados por la demanda del sistema automático de amarre en los en los escenarios previstos se muestran en la siguiente Tabla

Tabla 95. Impactos del sistema automático de amarre sobre la producción interior de la Comunidad de Cantabria

SECTORES ECONÓMICOS	EFECTOS ESCENARIO I			EFECTOS ESCENARIO III		
	Totales	Directos	Indirectos	Totales	Directos	Indirectos
Agricultura y Pesca	8	0	8	17	0	17
Energía	364	169	195	725	338	387
Bienes intermedios	240	32	208	471	56	415
Bienes de equipo	6.703	5.993	710	13.387	11.971	1.417
Bienes de consumo	120	0	120	235	0	235
Construcción	1.515	1.044	471	3.024	2.088	936
Transportes	363	141	222	556	141	415
Hostelería	44	0	44	86	0	86
Otros Serv. de Mercado	992	76	915	1.926	136	1.790
Otros Serv. de no Mercado	6	0	6	11	0	11
Total sectores	10.355	7.456	2.900	20.439	14.730	5.708

Cantidades en miles de 2014 (base 2007). Fuente: Elaboración propia

10.4.2.- Impactos sobre el valor añadido bruto

La demanda originada por la implantación del sistema automático de amarre en Cantabria presenta un efecto multiplicador sobre Valor Añadido Bruto del 43,07% en el escenario I y del 43,00% en el Escenario III. Ello supone:

- a) **Escenario I.** Por cada 100 euros gastados por el sistema implantado, interiormente se producirían 43,07€, 30,79€ por efectos directos y 12,28€ por efectos indirectos.
- b) **Escenario III.** Por cada 100 euros gastados por el sistema implantado, interiormente se producirían 43,00€, 30,78€ por efectos directos y 12,22€ por efectos indirectos.

Los efectos sobre el VAB, originados por la demanda del sistema automático de amarre en los en los escenarios previstos se muestran en la Tabla siguiente.

Tabla 96. Impactos interiores del sistema automático de amarre sobre el Valor Añadido Bruto de la Comunidad de Cantabria

SECTORES ECONÓMICOS	EFECTOS ESCENARIO I			EFECTOS ESCENARIO III		
	Totales	Directos	Indirectos	Totales	Directos	Indirectos
Agricultura y Pesca	3	0	3	5	0	5
Energía	121	60	62	241	119	122
Bienes intermedios	74	8	66	145	14	131
Bienes de equipo	1.954	1.743	210	3.901	3.482	419
Bienes de consumo	37	0	37	73	0	73
Construcción	568	397	171	1.135	795	340
Transportes	132	60	73	192	60	132
Hostelería	14	0	14	27	0	27
Otros Serv. de Mercado	343	54	289	657	97	560
Otros Serv. de no Mercado	2	0	2	3	0	3
Total sectores	3.248	2.322	926	6.379	4.567	1.813

Cantidades en miles de € de 2014 (base 2007). Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta el VAB para Cantabria, hemos estimado que la actividad total del sistema de amarre automático en la Comunidad Autónoma supone un impacto interior en la región para los escenarios indicados siguiente:

Escenario I. El impacto total sería del 0,028%, del que 0,020% se debería a efectos directos y el 0,008% a efectos indirectos.

Escenario III. El impacto total sería del 0,055%, del que 0,039% se debería a efectos directos y el 0,016% a efectos indirectos.

10.4.3.- Impactos sobre el excedente bruto de explotación

La demanda originada por la implantación del sistema automático de amarre en Cantabria presenta un efecto multiplicador sobre Excedente Bruto de Explotación del 43,07% en el escenario I y del 43,00% en el Escenario III. Ello supone:

- a) **Escenario I.** Por cada 100 euros gastados por el sistema implantado, interiormente se producirían 17,05€ 12,04€ por efectos directos y 05,00€ por efectos indirectos.

- b) Escenario III.** Por cada 100 euros gastados por el sistema implantado, interiormente se producirían 16,89€, 11.95€ por efectos directos y 4,94€ por efectos indirectos.

Los efectos sobre el EBE, originados por la demanda del sistema automático de amarre en los en los escenarios previstos se muestran en la Tabla siguiente

Tabla 97. Impactos interiores del sistema automático de amarre sobre el Excedente Bruto de Explotación de la Comunidad de Cantabria

SECTORES ECONÓMICOS	EFECTOS ESCENARIO I			EFECTOS ESCENARIO III		
	Totales	Directos	Indirectos	Totales	Directos	Indirectos
Agricultura y Pesca	1	0	1	2	0	2
Energía	68	40	28	136	80	56
Bienes intermedios	30	4	26	59	7	52
Bienes de equipo	675	600	75	1.347	1.198	149
Bienes de consumo	15	0	15	29	0	29
Construcción	276	195	81	550	390	160
Transportes	64	33	31	87	33	54
Hostelería	5	0	5	10	0	10
Otros Serv. de Mercado	151	36	115	284	64	220
Otros Serv. de no Mercado	1	0	1	1	0	1
Total sectores	1.285	908	377	2.506	1.773	733

Cantidades en miles de € de 2014 (base 2007). Fuente: Elaboración propia

10.4.4.- Impactos sobre la remuneración de asalariados

La demanda originada por la implantación del sistema automático de amarre en Cantabria presenta un efecto multiplicador sobre Excedente Bruto de Explotación del 25,85% en el escenario I y del 25,74% en el Escenario III. Ello supone:

- a) Escenario I.** Por cada 100 euros gastados por el sistema implantado, interiormente se producirían 25,85€, 18,50€ por efectos directos y 7,14€ por efectos indirectos.
- b) Escenario III.** Por cada 100 euros gastados por el sistema implantado, interiormente se producirían 25,74€, 18,59€ por efectos directos y 7,15€ por efectos indirectos.

Los efectos sobre el RA, originados por la demanda del sistema automático de amarre en los en los escenarios previstos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 98. Impactos interiores del sistema automático de amarre sobre la Remuneración de Asalariados de la Comunidad de Cantabria

SECTORES ECONÓMICOS	EFECTOS ESCENARIO I			EFECTOS ESCENARIO III		
	Totales	Directos	Indirectos	Totales	Directos	Indirectos
Agricultura y Pesca	2	0	2	3	0	3
Energía	51	19	33	102	37	65
Bienes intermedios	43	4	39	84	6	78
Bienes de equipo	1.270	1.136	134	2.537	2.269	268
Bienes de consumo	22	0	22	44	0	44
Construcción	280	193	87	558	386	173
Transportes	67	26	41	103	26	77
Hostelería	8	0	8	16	0	16
Otros Serv. de Mercado	190	19	172	369	33	336
Otros Serv. de no Mercado	1	0	1	2	0	2
Total sectores	1.934	1.395	539	3.818	2.757	1.061

Cantidades en miles de € de 2014 (base 2007). Fuente: Elaboración propia

10.4.5.- Impactos sobre empleo regional

La demanda originada por la implantación del sistema automático de amarre en el Puerto de Santander establece los siguientes requerimientos de empleo interiores -para toda la CA- que se formalizan en la Tabla siguiente.

Tabla 99. Impactos interiores del sistema automático de amarre sobre el Empleo de la Comunidad de Cantabria

SECTORES ECONÓMICOS	EFECTOS ESCENARIO I			EFECTOS ESCENARIO III		
	Totales	Directos	Indirectos	Totales	Directos	Indirectos
Agricultura y Pesca	0	0	0	0	0	0
Energía	2	1	1	3	1	2
Bienes intermedios	2	1	1	3	0	3
Bienes de equipo	39	35	4	78	70	8
Bienes de consumo	1	0	1	2	0	2
Construcción	14	10	4	27	19	8
Transportes	7	5	2	9	5	4
Hostelería	0	0	0	1	0	1
Otros Serv. de Mercado	7	1	6	14	2	12
Otros Serv. de no Mercado	0	0	0	0	0	0
Total sectores	72	53	19	137	97	40

Cantidades en miles de € de 2014 (base 2007). Fuente: Elaboración propia

10.5. Impacto total del sistema automático de amarre en Cantabria (2014)

En el presente epígrafe se formalizan los efectos globales que, a diferencia de los interiores, consideran los requerimientos totales de consumos intermedios (tanto los suministrados por empresas residentes como los importados). La estructura de impactos sobre los diferentes macromagnitudes es similar a la expuesta para la producción interior. El único aspecto que cambia es la inversa de Leontief [I-A]⁻¹ que determina los efectos totales y, como se ha indicado, dicha magnitud se determina a partir de los consumos intermedios totales. En tal sentido los efectos directos son los mismos que en el caso de los multiplicadores interiores. Por tanto únicamente haremos referencia a los efectos totales e indirectos.

10.5.1.- Impactos sobre la producción total

La demanda originada por la implantación del sistema automático de amarre en Cantabria presenta un efecto multiplicador sobre la producción total del 259,99% en el escenario I y del 261,69% en el Escenario III. Veamos que supone:

Tabla 100. Impactos del sistema automático de amarre sobre la producción total de la Comunidad de Cantabria

SECTORES ECONÓMICOS	EFECTOS ESCENARIO I			EFECTOS ESCENARIO III		
	Totales	Directos	Indirectos	Totales	Directos	Indirectos
Agricultura y Pesca	164	0	164	323	0	323
Energía	1.571	169	1.402	3.127	338	2.788
Bienes intermedios	1.861	32	1.829	3.704	56	3.647
Bienes de equipo	8.971	5.993	2.978	17.907	11.971	5.936
Bienes de consumo	1.558	0	1.558	3.076	0	3.076
Construcción	1.658	1.044	614	3.309	2.088	1.221
Transportes	1.029	141	888	1.872	141	1.731
Hostelería	81	0	81	160	0	160
Otros Serv. de Mercado	2.700	76	2.624	5.319	136	5.183
Otros Serv. de no Mercado	14	0	14	28	0	28
Total sectores	19.607	7.456	12.152	38.825	14.730	24.094

Cantidades en miles de € de 2014 (base 2007). Fuente: Elaboración propia

- a) **Escenario I.** Por cada 100 euros gastados por el sistema implantado, interiormente se producirían 259,99€, 98,86€ por efectos directos y 161,13€ por efectos indirectos.

b) Escenario III. Por cada 100 euros gastados por el sistema implantado, interiormente se producirían 261,69€ 99,29€ por efectos directos y 162,40€ por efectos indirectos.

Los efectos sobre la producción total, originados por la demanda del sistema automático de amarre en los en los escenarios previstos se muestran en la Tabla anterior.

10.5.2.- Impactos sobre el valor añadido bruto total

La demanda originada por la implantación del sistema automático de amarre en Cantabria presenta un efecto multiplicador sobre Valor Añadido Bruto del 80,11% en el escenario I y del 80,35% en el Escenario III. Ello supone:

Tabla 101. Impactos totales del sistema automático de amarre sobre el Valor Añadido Bruto de la Comunidad de Cantabria

SECTORES ECONÓMICOS	EFECTOS ESCENARIO I			EFECTOS ESCENARIO III		
	Totales	Directos	Indirectos	Totales	Directos	Indirectos
Agricultura y Pesca	50	0	50	99	0	99
Energía	487	60	428	969	119	849
Bienes intermedios	565	8	557	1.124	14	1.110
Bienes de equipo	2.623	1.743	880	5.234	3.482	1.752
Bienes de consumo	478	0	478	940	0	940
Construcción	612	397	214	1.220	795	426
Transportes	334	60	274	589	60	529
Hostelería	25	0	25	49	0	49
Otros Serv. de Mercado	864	54	809	1.689	97	1.592
Otros Serv. de no Mercado	4	0	4	9	0	9
Total sectores	6.042	2.322	3.719	11.920	4.567	7.354

Cantidades en miles de € de 2014 (base 2007). Fuente: Elaboración propia

a) Escenario I. Por cada 100 euros gastados por el sistema implantado, interiormente se producirían 90,11€ 30,79€ por efectos directos y 49,32€ por efectos indirectos.

b) Escenario III. Por cada 100 euros gastados por el sistema implantado, interiormente se producirían 80,35€ 30,78€ por efectos directos y 49,57€ por efectos indirectos.

Los efectos sobre el VAB, originados por la demanda del sistema automático de amarre en los en los escenarios previstos se muestran en la Tabla anterior.

Teniendo en cuenta el VAB para Cantabria, hemos estimado que la actividad total del sistema de amarre automático en la Comunidad Autónoma supone un impacto total en la región para los escenarios indicados siguiente:

Escenario I. El impacto total sería del 0,052%, del que 0,020% se debería a efectos directos y el 0,032% a efectos indirectos.

Escenario III. El impacto total sería del 0,102%, del que 0,039% se debería a efectos directos y el 0,062% a efectos indirectos.

10.5.3.- Impacto total sobre el excedente bruto de explotación

La demanda originada por la implantación del sistema automático de amarre en Cantabria presenta un efecto multiplicador sobre Excedente Bruto de Explotación del 30,84% en el escenario I y del 30,75% en el Escenario III. Ello supone:

- a) *Escenario I.* Por cada 100 euros gastados por el sistema implantado, interiormente se producirían 30,84€, 12,04€por efectos directos y 18,79€por efectos indirectos.
- b) *Escenario III.* Por cada 100 euros gastados por el sistema implantado, interiormente se producirían 30,75€, 11.95€por efectos directos y 18,80€por efectos indirectos.

Los efectos sobre el EBE, originados por la demanda del sistema automático de amarre en los en los escenarios previstos se muestran en la Tabla siguiente.

Tabla 102. Impactos totales del sistema automático de amarre sobre el Excedente Bruto de Explotación de la Comunidad de Cantabria

SECTORES ECONÓMICOS	EFECTOS ESCENARIO I			EFECTOS ESCENARIO III		
	Totales	Directos	Indirectos	Totales	Directos	Indirectos
Agricultura y Pesca	19	0	19	38	0	38
Energía	208	40	168	413	80	333
Bienes intermedios	213	4	209	422	7	415
Bienes de equipo	912	600	312	1.819	1.198	621
Bienes de consumo	185	0	185	361	0	361
Construcción	292	195	97	582	390	192
Transportes	139	33	105	234	33	201
Hostelería	10	0	10	19	0	19
Otros Serv. de Mercado	347	36	311	671	64	607
Otros Serv. de no Mercado	2	0	2	3	0	3
Total sectores	2.325	908	1.417	4.562	1.773	2.789

Cantidades en miles de € de 2014 (base 2007). Fuente: Elaboración propia

10.5.4.- Impacto total sobre la remuneración de asalariados

La demanda originada por la implantación del sistema automático de amarre en Cantabria presenta un efecto multiplicador sobre Excedente Bruto de Explotación del 48,65% en el escenario I y del 48,98% en el Escenario III. Ello supone:

- a) **Escenario I.** Por cada 100 euros gastados por el sistema implantado, interiormente se producirían 48,65€ 18,50€ por efectos directos y 30,14€ por efectos indirectos.
- b) **Escenario III.** Por cada 100 euros gastados por el sistema implantado, interiormente se producirían 48,98€ 18,59€ por efectos directos y 30,39€ por efectos indirectos.

Los efectos sobre el RA, originados por la demanda del sistema automático de amarre en los en los escenarios previstos se muestran en la Tabla siguiente

Tabla 103. Impactos totales del sistema automático de amarre sobre la Remuneración de Asalariados de la Comunidad de Cantabria

SECTORES ECONÓMICOS	EFECTOS ESCENARIO I			EFECTOS ESCENARIO III		
	Totales	Directos	Indirectos	Totales	Directos	Indirectos
Agricultura y Pesca	30	0	30	60	0	60
Energía	275	19	257	548	37	510
Bienes intermedios	348	4	344	693	6	686
Bienes de equipo	1.699	1.136	563	3.391	2.269	1.122
Bienes de consumo	290	0	290	572	0	572
Construcción	307	193	114	612	386	226
Transportes	192	26	166	350	26	324
Hostelería	15	0	15	30	0	30
Otros Serv. de Mercado	511	19	492	1.006	33	972
Otros Serv. de no Mercado	3	0	3	5	0	5
Total sectores	3.669	1.395	2.273	7.266	2.757	4.509

Cantidades en miles de € de 2014 (base 2007). Fuente: Elaboración propia

10.5.5.- Impactos sobre empleo regional

La demanda originada por la implantación del sistema automático de amarre en el Puerto de Santander establece los siguientes requerimientos de empleo totales -para toda la CA- que se formalizan en la Tabla siguiente.

Tabla 104. Impactos totales del sistema automático de amarre sobre el Empleo de la Comunidad de Cantabria

SECTORES ECONÓMICOS	EFECTOS ESCENARIO I			EFECTOS ESCENARIO III		
	Totales	Directos	Indirectos	Totales	Directos	Indirectos
Agricultura y Pesca	1	0	1	2	0	2
Energía	9	1	8	18	1	17
Bienes intermedios	12	1	11	23	0	23
Bienes de equipo	53	35	18	105	70	35
Bienes de consumo	10	0	10	19	0	19
Construcción	15	10	5	29	19	10
Transportes	11	5	6	16	5	11
Hostelería	1	0	1	1	0	1
Otros Serv. de Mercado	18	1	17	35	2	33
Otros Serv. de no Mercado	0	0	0	0	0	0
Total sectores	130	53	77	248	97	151

Cantidades en miles de € de 2014 (base 2007). Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 11.- CONSECUENCIAS MEDIOAMBIENTALES

11.1.- Tiempo real utilizado en las maniobras.

En el puerto de Santander en el muelle de Raos 8, como ya se había explicado, es muy frecuente la realización de maniobras con buques RoRo y de ellos se han tomado los tiempo de maniobras reales realizadas en dicho muelle durante los años 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015.

Las maniobras comienzan en POB que es lo mismo que hora de embarque del práctico y terminan con desembarque de práctico. A este tiempo hay que añadir el tiempo que se necesita desde el desembarque de práctico hasta que termina la maniobra con todos los cabos firmes, que son de media en este muelle unos cuarenta minutos, como figura en la Tabla 106 de los datos reales se han obtenido los siguientes valores:

- La duración de la maniobra del buque de mayor GT, fue en Septiembre del 2015 la del “Hoegh Target” un buque de 76.420 toneladas de registro bruto con una eslora de 199,9 metros, desde el embarque de práctico hasta el desembarque de práctico (normalmente se desembarcan cuando queda firme el primer cabo a tierra), tardó 60 minutos en la maniobra de entrada, a este tiempo hay que sumarle unos 40 minutos de media, que es el tiempo que tardan desde primer cabo firme a tierra hasta todo firme y fin de la maniobra total 100 minutos.
- La duración de las maniobras de los buques de mayor eslora fueron en 2014 y 2013 las de los buques “Tysla”, “Parsifal” y “Salomé” todos de 75.251 toneladas de registro bruto con una eslora de 265 metros, desde el embarque de práctico hasta el desembarque de práctico, se tardó de media 45 minutos en la maniobra de entrada, a este tiempo hay que sumarle los otros 40 minutos de media, que es el tiempo que tardan desde primer cabo firme a tierra hasta todo firme y fin de la maniobra.
- La duración de la maniobra del buque de menor GT, fue en Abril del 2013 la del “Celtic Freedom” un buque de 2.120 toneladas de registro bruto con una eslora de 92,11 metros, desde el embarque de práctico hasta el desembarque de práctico, tardó 40 minutos en la maniobra de entrada, a este más 40 minutos, que es el

tiempo que tardan desde primer cabo firme a tierra hasta todo firme y fin de la maniobra.

- La duración de la maniobra del buque de menor eslora, fue en Diciembre del 2014 la del “Muhlenau” un buque de 2.461 toneladas de registro bruto con una eslora de 88 metros, desde el embarque de práctico hasta el desembarque de práctico, tardó 40 minutos en la maniobra de entrada, a este tiempo hay que sumarle unos 40 minutos de media, que es el tiempo que tardan desde primer cabo firme a tierra hasta todo firme y fin de la maniobra.

Tabla 105. Comparativa de los tiempos necesarios para la realización de las maniobras con cabos.

Nombre del Buque	GT= Tons de registro bruto	Eslora en metros	Duración maniobra desde embarca practico a desembarque.	Tiempo necesario para hacer firmes los cabos a tierra.	Tiempo necesario para hacer con el sistema de amarre automático.	Ahorro de tiempo si se hacen las maniobras con el sistema de amarre
	Toneladas	metros	minutos	minutos	minutos	minutos
HOEG TARGET	76.420	200	60	40	1,00	39,00
SALOME	75.251	265	40	40	1,00	39,00
TYSLA	75.251	265	55	35	1,00	34,00
PARSIFAL	75.251	265	45	45	1,00	44,00
MUHLENAU	2.461	88	40	40	1,00	39,00
CELTIC FREEDOM	2.120	92	40	40	1,00	39,00

Fuente: Elaboración propia., con datos recogidos del puerto de Santander.

La Tabla 105 se ha obtenido haciendo una base de datos en Excel con todos los buques que han entrado en el puerto de Santander en los últimos cinco años, después de analizar más de 155.000 datos, distribuidos en una tabla con 17 columnas y 9.166 filas.

A continuación se encuentra la Tabla 106 en la que figuran los tiempos invertidos en la realización de las maniobras de atraque en el muelle de Raos 8 por buques de la empresa naviera “Wallenius Wilhelmsen”, dichas maniobras se realizaron entre Marzo del 2011 y Septiembre del 2012. Los datos de las maniobras fueron recogidos por el autora, a bordo de los buques a su llegada al muelle, como agente consignatario de la empresa “Hijos de basterrechea S.A.” para la que trabajaba en esas fechas.

En la Tabla 106 se comprueba que de media el tiempo necesario para la realización de la maniobra, de forma segura, con los cabos es de cuarenta minutos. Este tiempo se cuenta desde primer cabo a tierra hasta todo firme.

El tiempo necesario para la salida es menor, será de unos veinte minutos aproximadamente.

Lo cual quiere decir que utilizando el sistema que está comprobado por su uso en diferentes puertos del mundo el amarre y desamarre se hace en unos doce segundos, se podrían llegar a ahorrar, más o menos, una hora de tiempo por escala:

Tabla 106. Tiempos utilizados por los buques de Wallenius Wilhelmsen en la maniobra de atraque con cabos.

FECHA	BARCO	GT	NT	ESLORA	MANGA	CPR	CPP	PRIMER CABO	TODO FIRME	TIEMPO HASTA HACER FIRME EN MUNUTOS
22-sep.-12	OTELLO	60945	28721	199	32,26	9	10	6:50	7:35	0:45
31-ago.-12	TOREADOR	61328	23558	199	32,26	10	10	11:48	12:30	0:42
25-jul.-12	TOLEDO	61321	22650	200	32,29	10,3	10,2	6:06	6:55	0:49
24-jun.-12	MEDEA	50681	20678	198	32,30	9,6	9,6	9:00	9:55	0:55
20-may.-12	MANON	67264	28473	228	32,26	9,8	9,8	11:30	12:30	1:00
21-abr.-12	TOREADOR	61328	23559	198	32,26	10,1	10,3	8:00	8:45	0:45
21-mar.-12	TOSCANA	61328	23559	198	32,26	9,8	10	8:40	9:36	0:56
20-feb.-12	AIDA	60942	28721	191	32,26	9,7	9,6	7:06	8:10	1:04
21-ene.-12	TRISTAN	51071	20650	191	32,26	9,1	9,2	15:48	16:40	0:52
20-ene.-12	ASIAN VISION	55680	20732	193	32,26	8,95	9,05	11:12	11:54	0:42
19-nov.-11	TOPEKA	61321	22650	193	32,26	9,2	9,8	12:00	12:55	0:55
25-oct.-11	AIDA	60942	28721	191	32,26	9,75	9,75	12:05	12:55	0:50
19-sep.-11	TURANDOT	55598	23033	191	32,26	9,03	9,1	9:05	9:35	0:30
5-sep.-11	OTELLO	60942	48704	199	32,26	9,2	9,6	13:00	13:15	0:15
5-ago.-11	BESS	58750	17625	196	32,26	7,88	8,15	6:00	6:25	0:25
13-jul.-12	LIBERTY	51828	27609	190	32,26	7,35	7,35	7:25	7:50	0:25
5-jun.-11	LIBERTY	51858	27609	190	32,26	8,7	8,8	7:12	7:42	0:30
2-may.-11	TURANDOT	55598	23033	191	32,26	8,85	9,2	7:00	7:40	0:40
9-abr.-12	OTELLO	60942	48704	199	32,26	10	10	6:55	7:50	0:55
5-mar.-11	MORNING CELINE	60799	18240	194	32,26	8,9	9,1	4:48	5:18	0:30
									MEDIA	0:43

Fuente: Elaboración propia con datos recogidos por la autora en la consignataria "Hijos de Basterrechea S.A.".

Teniendo en cuenta este ahorro de tiempo por escala en Raos 8:

Tiempo de maniobra con Cabos:

40 minutos de entrada + 20 minutos de salida = 60 minutos

Tiempo de maniobra de amarre con el Sistema de amarre automático:

40 segundos entrada + **20 segundos** salida = **60 segundos** = **1 minuto**

Ahorro de tiempo por escala: 60 minutos – 1 minuto = **59 minutos**

Lo cual quiere decir que si al año se hacen una media de 381 escalas en Raos 8, el ahorro de tiempo puede ser de:

381 x 59 minutos = 22.479 minutos = 374,65 horas = 15,61 días de ahorro en tiempo al año, en combustible, en ocupación de muelle y en emisiones a la atmósfera.

En Raos 9 pasaría lo mismo si estimamos unas 360 maniobras por año el ahorro en tiempo sería de:

$360 \times 59 \text{ minutos} = 21.240 \text{ minutos} = 354 \text{ horas} = 14,75 \text{ días de ahorro al año.}$

Si se implanta el sistema en un muelle:

Si al año se hacen una media de 1080 escalas el ahorro de tiempo puede ser de: $1080 \times 59 \text{ minutos} = 63.720 \text{ minutos} = 1062 \text{ horas} = 44,25 \text{ días/año de ahorro en tiempo, en combustible, en ocupación de muelle y en emisiones a la atmósfera.}$

Si se implanta el sistema en los dos muelles:

Si al año se hacen una media de 2160 escalas el ahorro de tiempo puede ser de: $1080 \times 59 \text{ minutos} = 127.440 \text{ minutos} = 2124 \text{ horas} = 88,5 \text{ días/año de ahorro en tiempo, en combustible, en ocupación de muelle y en emisiones a la atmósfera.}$

Esto se traduce en la disminución de emisiones de CO₂ a la atmósfera.

11.2.- Ahorro de combustible y disminución de emisiones de CO₂ a la atmósfera

Como se ha visto en el apartado anterior, utilizando el sistema de amarre automático se puede ahorrar de media unos 59 minutos por maniobra, lo cual traducido a ahorro de combustible y de emisiones de CO₂.

El CO₂ es un gas incoloro, inodoro y no tóxico, es el principal producto de la combustión de combustibles basados en el carbono, es un gas con un tiempo de residencia en la atmósfera muy elevado (100 años o más). Un incremento en la concentración de este gas altera el balance de radiación de la tierra, contribuyendo al calentamiento global por lo que es denominado gas de efecto invernadero.

En procesos de combustión de motores diésel, prácticamente todo el carbono que entra en la cámara de combustión del motor se oxida para formar CO₂ que se libera a la atmósfera con los gases de escape.

El carbono procedente de la oxidación del lubricante es despreciable por lo tanto las emisiones de CO₂ son proporcionales al contenido de carbono del combustible y a su consumo.

Se han calculado estos datos con cuatro buques diferentes de los que hacen escalas habituales en el puerto de Santander en el muelle de Raos 8.

Los buques que hemos seleccionado para realizar estos cálculos son:

- Parsifal
- Toscana
- Autostar
- Autobay

Para realizar estos cálculos de consumos de combustibles durante la maniobra de atraque y emisiones de CO₂ nos hemos basado en los informes (Entec, 2002, Entec, 2007) en el segundo IMO GHG Studio 2009, IMO 2009 (Buhaug et al., 2009) y en la resolución MEPC 212(63) adoptada el 2 de marzo de 2012, (Oria et al., 2015), directrices de 2012 sobre el método de cálculo del índice de eficiencia energética de proyecto (EEDI) obtenido para los buques nuevos.

Se ha elaborado una Tabla Excel para realizar estos cálculos, los datos que se necesitan son:

Datos de los buques:

Tabla 107. Datos de los buques necesarios para el cálculo.

NOMBRE BUQUE	ARQUEO Toneladas	Fecha Escala	Tiempo necesario en la maniobra con cabos. horas	Tipo buque IHS	Año Buque IHS	Nº Ppal	Potencia Ppal	Velocidad Ppal	Marca	Tipo Ppal	Nº Aux	P Aux 1 kW
PARSIFAL	75.251	22/06/2014	1,00	RoRo	2011	1	21.770	108	Otros	2T	3	2360
TOSCANA	61.328	21/08/2014	1,00	RoRo	2009	1	13.240	105	Mitsubishi	2T	3	1250
AUTO BAY	19.094	10/01/2014	1,00	RoRo	1997	1	14.480	500	Mitsubishi	4T	2	600
AUTOSTAR	21.010	14/01/2014	1,00	RoRo	2000	2	8.400	500	Wärtsilä	4T	2	1500

Fuente: Elaboración propia con datos de la base de datos Fairplay.

Además de estos datos se necesita conocer:

- a) Que el combustible que se utiliza obligatoriamente durante la realización de toda la maniobra es MGO, el consumo específico (SFC) del motor principal y de los auxiliares, según el ENTEC 2002 viene calculado en las siguientes tablas:

Las unidades del SFG son g/Kw.h.

Tabla 108. Cálculo del SFC del motor principal

Edad del buque	Más de 5.000 Kw
Antes de 1983	205
1984 - 2000	185
2001- 2007	175

Fuente: Elaboración propia. Fuente: OMI 2009

Tabla 109: Cálculo del SFC del motor principal

Edad del buque	Más de 800 Kw.	Menos de 800 Kw.
Cualquiera	220	230

Fuente: Elaboración propia. Fuente: OMI 2009

Tabla 110. Valor del SFC del motor principal y aux. de los buques seleccionados.

NOMBRE BUQUE	Año Buque IHS	SCF Motor Ppal. g/Kw.h	SCF Auxiliares g/Kw.h
PARSIFAL	2011	175	220
TOSCANA	2009	175	220
AUTO BAY	1997	185	230
AUTOSTAR	2000	185	220

Fuente: Elaboración propia. Fuente: OMI 2009

- b) Que el régimen de máquina (MCR) en porcentaje que se utiliza durante la realización de las maniobras según ENTEC 2002 es del 20% para el motor principal y del 50% para los auxiliares.
- c) El tiempo de maniobra que se va a emplear para el cálculo es el tiempo que nos ahorraríamos al realizar las maniobras con el sistema de amarre automático, como ya se ha visto en el apartado anterior el tiempo que se ahorraría es de media unos 59 minutos por maniobra = 0.983 horas por maniobra.
- d) El C_F que es un factor de conversión adimensional entre el consumo de combustible medio en g. y las emisiones de CO_2 (también medidas en g.), basándose en el contenido de carbono. Según el MEPC 212/63 del 2 de marzo este dato sería para el Diésel/ Gasoil de 3,206 tons de CO_2 /ton de combustible.

 Tabla 111. Valor del C_F de los motores principales y auxiliares de los buques seleccionados

Valores de C_F según el tipo de combustible			
Tipo de combustible	Referencia	Contenido de carbono	C_F (ton. De CO_2 /ton. de combustible)
1. Diésel/gasoil	ISO 8217 – Grados DMX a DMC	0,875	3,20600

Fuente: Elaboración propia. Fuente: MEPC 212/63

- e) El EF es el factor de emisión de contaminante, se mide en g/Kwh (gramos de contaminante emitido por unidad energética producida).

Los modelos normalmente utilizan un EF tabulado pero en éste caso, como no aplicamos ningún modelo de cálculo en concreto, hay que calcularlo. Se calcula un EF para el motor principal y un EF para los motores auxiliares.

$$EF = C_F \times SFC \quad (21)$$

$$EF \text{ (g/Kwh)} = C_F \text{ (gr CO}_2\text{/g Combustible)} \times SFC \text{ (g Combustible/ Kwh)}$$

Las fórmulas utilizadas para realizar el cálculo son:

$$C = (SFC \times P_{ppl} \times MCR \times t) / 1000000 \quad (22)$$

C = Consumo de combustible

t = Tiempo de maniobra

P_{ppal} = Potencia del motor principal

$$E_{CO2\text{motor ppal}} = C \times EF \quad (23)$$

$$E_{CO2\text{motor auxiliar}} = C \times EF \quad (24)$$

Total de emisiones es la suma de las dos:

$$E_{\text{emisiones de CO}_2 \text{ total}} = E_{\text{emisiones de CO}_2 \text{ motor ppal}} + E_{\text{emisiones de CO}_2 \text{ motor auxiliar}} \quad (25)$$

11.2.1.- Cálculo del ahorro con el buque Parsifal

En la siguiente Tabla podemos ver los valores necesarios para el cálculo del consumo de combustible de los motores auxiliares y del motor principal en los 59 minutos que se ahorraría al hacer la maniobra con el sistema de amarre convencional. Este mismo proceso los hemos realizado con el resto de buques seleccionados.

Tabla 112. Cálculo para el buque Parsifal.

BUQUE: PARSIFAL	Motor principal	Motores Auxiliares	Totales
SFC = g/Kw.h Según ENTEC 2002	175	220	
Potencia motor = Kw	21770	7080	
% MCR (según ENTEC 2002)	20,00%	50,00%	
Tiempo de maniobra = horas	0,983	0,983	
Consumo Combustible = Toneladas	0,74899685	0,7655604	1,51
CF =Toneladas CO2/Toneladas combustible (IMO 2009)	3,206	3,206	
EF	561,05	705,32	
Emisiones CO2 = Toneladas	2,40	2,45	4,86

Fuente: Elaboración propia.

El buque se ha tomado como ejemplo Parsifal de los buques de este tonelaje que entran con frecuencia en el puerto de Santander. Como vemos en la Tabla anterior, este buque podría ahorrar unas 1,51 toneladas de combustible por escala, unos 920 € lo cual se refleja en una disminución de emisiones de CO₂ de 4,86 toneladas.

11.2.2.- Cálculo del ahorro con el buque Toscana

Con el buque Toscana teniendo en cuenta los cálculos elaborados en la Tabla siguiente el ahorro de combustible por escala sería de 0,86 toneladas, unos 523 € y se dejarían de emitir a la Atmósfera unas 2,76 toneladas de CO₂.

Tabla 113. Cálculo para el buque Toscana.

BUQUE: TOSCANA	Motor principal	Motores Auxiliares	Totales
SFC = g/Kw.h Según ENTEC 2002	175	220	
Potencia motor = Kw	13240	3750	
% MCR (según ENTEC 2002)	20,00%	50,00%	
Tiempo de maniobra = horas	0,983	0,983	
Consumo Combustible = Toneladas	0,4555222	0,4054875	0,86
CF =Toneladas CO ₂ /Toneladas combustible (IMO 2009)	3,206	3,206	
EF	561,05	705,32	
Emisiones CO ₂ = Toneladas	1,46	1,30	2,76

Fuente: Elaboración propia.

11.2.3.- Cálculo del ahorro con el buque Autostar

El buque Autostar es un buque que cubre la línea regular entre Santander y Zeebrugge, escala en el puerto de Santander dos veces por semana, según los cálculos realizados en la Tabla siguiente se podría ahorrar unas 0,94 toneladas de combustible por escala que son unos 568 € y se dejarían de emitir a la atmósfera unas 3,00 toneladas de CO₂.

Tabla 114. Cálculo para el buque Autostar.

BUQUE: AUTOSTAR	Motor principal	Motores Auxiliares	Totales
SFC = g/Kw.h Según ENTEC 2002	185	220	
Potencia motor = Kw	16800	3000	
% MCR (según ENTEC 2002)	20,00%	50,00%	
Tiempo de maniobra = horas	0,983	0,983	
Consumo Combustible = Toneladas	0,6110328	0,32439	0,94
CF =Toneladas CO ₂ /Toneladas combustible (IMO 2009)	3,206	3,206	
EF	593,11	705,32	
Emisiones CO ₂ = Toneladas	1,96	1,04	3,00

Fuente: Elaboración propia.

12.2.4.- Cálculo del ahorro con el buque Autobay

Con este buque sucede lo mismo que con el anterior, cubre una línea regular y hace dos escalas semanales en Santander, por escala se podría ahorrar en combustible unas 0,66 toneladas que son unos 402 €y dejaría de emitir unas 2,12 toneladas de CO₂.

Tabla 115. Cálculo para el buque Autobay.

BUQUE: AUTOBAY	Motor principal	Motores Auxiliares	Totales
SFC = g/Kw.h Según ENTEC 2002	185	230	
Potencia motor = Kw	14480	1200	
% MCR (según ENTEC 2002)	20,00%	50,00%	
Tiempo de maniobra = horas	0,983	0,983	
Consumo Combustible = Toneladas	0,52665208	0,135654	0,66
CF =Toneladas CO ₂ /Toneladas combustible (IMO 2009)	3,206	3,206	
EF	593,11	737,38	
Emisiones CO ₂ = Toneladas	1,69	0,43	2,12

Fuente: Elaboración propia.

11.2.5.- Cálculo del ahorro de combustible medio anual y disminución de las emisiones de CO₂.

En la Tabla siguiente se pueden ver calculado los ahorros de combustible por escala, se ha calculado un ahorro de combustible medio y con ello se ha estimado el ahorro que se podría obtener anualmente con tres supuestos:

Supuesto 1: En la actualidad con las escalas actuales que son unas 381.

Supuesto 2: Con el sistema instalado sólo en Raos 8, con 3 escalas diarias total 1.080 escalas anuales. (14 robots instalados)

Supuesto 3: Con el sistema instalado en Raos 8 y en Raos 9, con 3 escalas diarias por muelle total 2.160 escalas anuales. (28 robots instalados)

Tabla 116. Resumen ahorro medio de combustible por escala.

Buques	Ahorro combustible por escala	Disminución de Emisiones de CO ₂ por escala	Ahorro en combustible por escala
PARSIFAL	1,51456 tons.	4,85567 tons.	920,65 €
TOSCANA	0,86101 tons.	2,76040 tons.	523,38 €
AUTO BAY	0,66231 tons.	2,12335 tons.	402,59 €
AUTOSTAR	0,93542 tons.	2,99897 tons.	568,61 €
Media	0,99332 tons.	3,18460 tons.	603,81 €

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 117. Gasto de Gasoil y emisiones de CO₂ actuales.

Maniobras /año	Ahorro gasoil	Emisiones CO ₂	Precio combustible	Gasoil	Ahorro anual
381	378,46 tons/año	1.213,33 tons/año	0,541 €/litro	425.231,94 litros	230.050,48 €

Fuente: Elaboración propia.

 Tabla 118. Ahorro anual en Gasoil y disminución de emisiones de CO₂ si se instalasen los 14 o 28 robots.

Tiempo ahorrado por maniobra 59 minutos.

Nº robots	Maniobras / año	Ahorro gasoil	Emisiones CO ₂	Precio combustible	Litros de Gasoil	Ahorro anual
14	1080	1.072,79 tons/año	3.439,36 tons/año	0,541 €/litro	1.205.381,88	652.111,60 €
28	2160	2.145,58 tons/año	6.878,73 tons/año	0,541 €/litro	2.410.763,76	1.304.223,20 €

Fuente: Elaboración propia.

Ahorro de combustible:

Como se puede ver en la Tabla 118, instalando un sistema de amarre automático (14 robots), el ahorro anual en combustible, puede alcanzar los 652.111 €. En el caso de que se instalase el sistema de amarre automático en los dos muelles (28 robots) el ahorro podría ascender a 1.304.223 €.

Este importe se lo ahorrarían los armadores de los buques que utilizasen el sistema de amarre automático, se podrían ahorrar de media unos 603 € por escala.

En la Tabla 117 se puede comprobar que el ahorro de combustible con el nivel de tráfico actual podría ascender a los 230.050 € anuales, repercutido en todos los armadores de los buques que escalan en el muelle de Raos 8.

Disminución de las emisiones de CO₂:

En cuanto a las emisiones de CO₂ en Tabla 118 se calculan las emisiones de CO₂ que se dejarían de producir si se instalase el sistema de amarre automático en un muelle y en dos que podrían ascender a 3.439 y 6.878 toneladas respectivamente. Se dejarían de producir por escala 3,18 toneladas de CO₂.

En la Tabla 117 se refleja las emisiones de CO₂ que se están produciendo actualmente con el nivel de tráfico actual en el muelle de Raos 8, esta cantidad asciende a 1.213 toneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos de la investigación desarrollada se han alcanzado las siguientes conclusiones:

1. La utilización del simulador de maniobra en tiempo real ha demostrado, ser una herramienta muy útil y eficaz para el diseño, desarrollo y construcción de proyectos de ingeniería de muelles, ya que ha permitido reproducir con exactitud todas las condiciones (variables) que se podían dar en el escenario real.
2. La utilización del sistema de amarre automático ha permitido aumentar los márgenes de seguridad durante la estancia del buque atracado. El buque puede permanecer atracado con plena seguridad con vientos más virulentos que con el sistema convencional, sin la necesidad de recurrir a remolcadores.
3. El sistema de amarre automático reduce el tiempo total de estancia en puerto de los buques, lo que supone un incremento de la capacidad portuaria disponible y una disminución del riesgo de congestión, por lo que se acepta la hipótesis 1.
4. Con el sistema de amarre automático, se reduce el coste del servicio de amarre, para los niveles de tráfico de pleno empleo de las terminales en el Escenario III. Ello supone registrar un total de 2160 escalas anuales. Bajo tales condiciones se acepta la hipótesis 2.
5. Se constata que utilizando el nuevo sistema de amarre automático se aumenta la seguridad y se reducen los movimientos del buque durante su estancia en puerto. Teniendo en cuenta las maniobras realizadas en el simulador, hemos observado que los movimientos son menores con el sistema de amarre automático. Se acepta la hipótesis 3.
6. Se constata que utilizando el nuevo sistema de amarre automático se ahorra combustible y se reducen las emisiones de CO₂ a la atmósfera, ya que se reduce aproximadamente en 6 horas diarias los el consumo de los motores principal y auxiliares. Se acepta la hipótesis 4.
7. La explotación del sistema de amarre automático en el Puerto de Santander, para los niveles de tráfico previstos (2160 escalas anuales) sólo es rentable si se instala en las dos terminales (Escenario III: RAOS 8 y 9) debido a que se originan economías de escala operacionales. Sin embargo, la rentabilidad es insuficiente, al ser inferior al coste de capital, por lo que la implantación del sistema debe rechazarse.

8. El sistema de marre automático, parece ser rentable en puertos de grandes dimensiones y volúmenes de tráfico elevados, donde se puedan expandir ampliamente economías de escala operacionales. También en puertos donde las condiciones de viento y corriente no sean muy extremas y el sistema funcione con un número de robots reducido.

9. La demanda originada por la implantación del sistema de amarre automático (Escenario III) en el Puerto de Santander presenta un efecto multiplicador sobre la producción interior de Cantabria (empresas residentes) del 137,76%, y sobre la producción total (empresas residentes y no residentes) del 261,69%. Ello supone que por cada 100 euros gastados por el sistema implantado, las empresas de Cantabria producirían por valor de 137,76€ y todas las empresas (residentes y no residentes) implicadas en la actividad producirían por valor de 261,69€

10. La implantación del sistema de amarre automático (Escenario III) en la Comunidad Autónoma supondría un impacto interior (empresas residentes) en la región del 0,055% del VAB de Cantabria, y un impacto total (empresas residentes y no residentes) en la región del 0,102% del VAB de Cantabria.

11. La demanda originada por la implantación del sistema de amarre automático (Escenario III) en el Puerto de Santander originaría unos requerimientos interiores de 137 empleos en empresas de Cantabria y un total de 248 empleos en empresas residentes y no residentes.

***BIBLIOGRAFÍA Y OTRAS FUENTES
CONSULTADAS***

Bibliografía

Amarradores 1996, Convenio Nacional de Amarradores, 1ª edn, Liber Factory, Madrid.

Arrillaga Anabitarte, P. 1993, Los Barcos en la mar y su maniobra en puerto, 1ª edn, Servicio central de publicaciones del gobierno Vasco, Bilbao.

Atienza, R., Diaz R de Navamuel, E. & Montero, J.M. 2004, Maniobras de Entrada y Salida de Buques de gran obra muerta. Puerto de Santander. Informe final, CEDEX, Madrid.

Baan, J. 1983, A rigid arm single point mooring system for vessels, DE FR GB IT NL SE edn, B63B 27/34, B63B 22/02, (NL).

Banfield, S. & Flory, J. 2010, "Effects of fiber rope complex stiffness behavior on mooring line tensions with large vessels moored in waves", OCEANS 2010IEEE, pp. 1.

Barbudo Escobar, I. 2004, Fundamentos de Maniobra, 1ª, Volumen I del tratado de maniobra. edn, Fragata Libros Náuticos., Barcelona.

Batey, P& Rose, A. Extended input–output models: progress and potential, International Regional Science Review, 13 (1–2) (1990), pp. 27–49

BOE 2013, Orden FOM/1698/2013, de 31 de julio, por la que se modifica la Orden FOM/4003/2008, de 22 de julio, por la que se aprueban las normas y reglas generales de los procedimientos de contratación de Puertos del Estado y Autoridades Portuarias. BOE 23/09/2013. Nº 228, sec III, pág. 76569, Modificación Orden Ministerial edn, Ministerio de Fomento., Madrid.

BOE 2009, Orden FOM/4003/2008, de 22 de julio, por la que se aprueban las normas y reglas generales de los procedimientos de contratación de Puertos del Estado y Autoridades Portuarias. BOE 24/01/2009. Nº21, sec II, pág. 8558, Orden Ministerial edn, Ministerio de Fomento, Madrid.

Burges, A. 1978, A Mathematical model for the calculation of the harbour entrance manoeuvre. Cogress edn, 7º International Harbour Congress of Amberes, Amberes.

Camarero Orive, A., López Ansorena, I., González Cancelas, N. & Pery Paredes, P. 2011, "Análisis de las diversas metodologías para el estudio del sistema de atraque en terminales portuarias".

Caro, R.V. 2014, "Revolución en los sistemas de amarre de los buques", Revista general de marina, vol. 266, no. 3, pp. 475-490.

Chen, M., Ge, S.S., How, B.V.E. & Choo, Y.S. 2013, "Robust Adaptive Position Mooring Control for Marine Vessels", IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 21, no. 2, pp. 395-409.

Collarte Concha, L. 2009, "Infraestructura portuaria para quicaví, chiloé: diseño de obras marítimas mayores", Universidad Austral de Chile.

Costa, J.B. 1991, Tratado de maniobra y tecnología naval, 1ª edn, JB Costa, Barcelona.

Das, R.S., H. 2007, Guía ilustrada de maniobras para embarcaciones de vela y motor. 1ª edn, Fragata. Librosnauticos.com, Madrid.

Duchene, P. French marinas: the economic impact, Marina Management, 6 (1994), p. 5

España. Dirección Técnica de Puertos del Estado 1995, Obras de atraque de bloques y pilotes en España: Fachada Galicia, Puertos del Estado [etc.], Madrid.

España. Dirección Técnica de Puertos del Estado 1994, Obras de atraque de bloques y pilotes en España: Fachada norte, Puertos del Estado [etc.], Madrid.

España. Subdirección General de Inversiones Portuarias 1988, Obras de atraque de cajones en España, MOPU, Secretaría General Técnica, Madrid.

Esteban Chapapría, V. 2004, Obras marítimas, Editorial de la UPV, Valencia: (sp).

Falkenberg, E., Åhjem, V., Larsen, K., Lie, H. & Kaasen, K.E. 2011, "Global Performance of Synthetic Rope Mooring Systems: Frequency Domain Analysis", ASME 2011 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering American Society of Mechanical Engineers, pp. 507.

Fang, S. & Blanke, M. 2011, "Fault monitoring and fault recovery control for position-moored vessels", *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, vol. 21, no. 3, pp. 467-478.

Fang, S., Blanke, M. & Leira, B.J. 2015, "Mooring system diagnosis and structural reliability control for position moored vessels", *Control Engineering Practice*, vol. 36, pp. 12-26.

Fernández, I.Y., García, R.S., Soberón, A.M.M., Mulinas, A.M., Higuero, N.M. & Verduch, D.C. "Aplicación de la simulación en la planificación y explotación de terminales portuarias de contenedores".

Filson, J.J., - Gadbois, J.F., - Ortloff, J.E. & - Ziarnik, A.P. 1986, - Vessel mooring system, US4604961 A, edn, - Google Patents, CA1220385A1, US.

Gaythwaite, J.W. 2004, *Design of Marine Facilities for Berthing, Mooring, and Repair of Vessels*. 2ª edn, American Society of Civil Engineers., Reston, Virginia.

Goekdeniz, N. & Deniz, U. 2006, "Dynamics of ships and fenders during berthing in a time domain", *Ocean Engineering*, vol. 33, pp. 14-15.

González, D.D.C. 2006, *Estudio paramétrico de las fuerzas en sistemas de amarre para buques amarrados en puerto.*, Universidad do Porto.

Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas. 2000, ROM 3.1-99 Proyecto de la configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación, 1ª edn, Puertos del Estado, Madrid.

Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas. 1995, ROM 0.4-95. , Puertos del Estado edn, Puertos del Estado, Madrid.

Grupo de expertos de la dirección general de puertos y costas. 1990, ROM 0.2-90 Acciones al proyectar Obra Marítima y Portuaria [revisada en ROM 0.0, ROM 0.5-05 y ROM 2.0-11], ROM, MADRID.

Hammell, T. & Puglisi, J. 1980, "Empirical Investigation of Simulator/Training System Characteristics", *Navigation*, vol. 27, no. 2, pp. 106-115.

He, W., He, X. & Ge, S.S. 2015, "Modeling and Vibration Control of a Coupled Vessel-Mooring-Riser System", *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*.

Henry, M. & Martin, T. Estimating income distribution effects on regional input–output multipliers, *Regional Science Perspectives*, 12 (1984), pp. 33–45.

Huang, Z. & Wang, Y. 2008, "Design of a PSO Based Fuzzy Logic Controller for Vessel Mooring Shifting System", *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2008. FSKD'08. Fifth International Conference on IEEE*, pp. 306.

Isakson, J., Persson, T. & Lindgren, E.S. 2001, "Identification and assessment of ship emissions and their effects in the harbour of Göteborg, Sweden", *Atmospheric Environment*, vol. 35, no. 21, pp. 3659-3666.

Ji, S., Choi, M. & Kim, Y. 2015, "A Study on Position Mooring System Design for the Vessel Moored by Mooring Lines", *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*.

Jin, H., Su, X., Yu, A. & Lin, F. 2014, "Design of automatic mooring positioning system based on mooring line switch", *Dianji yu Kongzhi Xuebao/Electric Machines and Control*, vol. 18, no. 5, pp. 93-98.

Knights, K.M., Strunin, J.M. & Strunin, L. 1975, "Measurement of low concentrations of halothane in the atmosphere using a portable detector", *Lancet (London, England)*, vol. 1, no. 7909, pp. 727-728.

Lee, D., Hong, S. & Lee, G. 2007, "Theoretical and experimental study on dynamic behavior of a damaged ship in waves", *Ocean Engineering*, vol. 34, no. 1, pp. 21-31.

Llorca, J., González Herrero, J.M. & Ametller, S. 2012, ROM 2.0-1. Tomo I: Recomendaciones para el proyecto y ejecución de Obras de Atraque y Amarre. 1ª edn, Puertos de Estado, Madrid.

Llorca, J., González Herrero, J.M. & Ametller, S. 2012, ROM 2.0-1. Tomo II: Recomendaciones para el proyecto y ejecución de Obras de Atraque y Amarre. 1ª edn, Puertos del Estado, Madrid.

Lutz, F. and V. (1951): *The theory of investment of the firm*, Princeton University Press, Nueva Jersey.

Macfarlane, G.J., Lilienthal, T., Ballantyne, R.J. & Ballantyne, S. 2012, "An Experimental Study on the Relative Motions between a Floating Harbour Transhipper and a Feeder Vessel in Regular Waves", *International Journal of Maritime Engineering*, vol. 154, pp. A97-A107.

Mavrakos, S.A., Papazoglou, V.J., Triantafyllou, M.S. & Hatjigeorgiou, J. 1996, "Deep water mooring dynamics", *Marine Structures*, vol. 9, no. 2, pp. 181-209.

Miller, N. 1991, "WIND EFFECTS ON RORO VESSELS".

Montano, A., Restelli, M. & Sacco, R. 2007, "Numerical simulation of tethered buoy dynamics using mixed finite elements", *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 196, no. 41-44, pp. 4117-4129.

Montgomery, P.J. 2009, *Mooring system and related means*.

Moyano Retamero, J. & Losada Rodríguez, M.Á. 2002, *Fiabilidad y riesgo en sistemas de atraque, amarre y defensa*, Universidad de Granada, Grupo de Puertos y Costas, Granada.

Murray, J., Gupta, A., Seng, F.K., Mortensen, A. & Tung, W.T. 2009, "Disconnectable Mooring System for Ice Class Floaters", *ASME 2009 28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering* American Society of Mechanical Engineers, pp. 169.

Nakamura, M., Kajiwara, H., Inada, M., Hara, S., Hoshino, K. & Kuroda, T. 2007, "Automatic mooring system for ship", *The Seventeenth International Offshore and Polar Engineering Conference* International Society of Offshore and Polar Engineers.

Nakamura, M., Kajiwara, H., Inada, M., Hara, S., Hoshino, K., Kuroda, T. & Isope 2007, "Automatic mooring system for ship" in *Proceedings of the Seventeenth*, pp. 1039-1046.

Natarajan, R. & Ganapathy, C. 1997, "Model experiments on moored ships", *Ocean Engineering*, vol. 24, no. 7, pp. 665-676.

Natarajan, R. & Ganapathy, C. 1995, "Analysis of moorings of a berthed ship", *Marine Structures*, vol. 8, no. 5, pp. 481-499.

Olivella Puig, J. 1998, Teoría del buque. Ola trocoidal, movimientos y esfuerzos. 1ª edn, UPC, Barcelona.

Park, B.W., Yuck, R.H., Cho, S.K. & Choi, H.S. 2009, "The Dynamic Response of a Moored Vessel in Shallow Water Using Boussinesq Equations", ASME 2009 28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering American Society of Mechanical Engineers, pp. 391.

Pasternak, J.D., Hersley, M. & Leite, S. 2010, "Increased offshore MODU mooring performance through MODUline® polyester rope", OCEANS 2010IEEE, pp. 1.

Paulauskas, V. 1998, "Laivo valdymas ypatingomis sąlygomis [Ship's steering in complicate conditions]", Klaipeda: Klaipėdos universiteto leidykla.

Paulauskas, V., Paulauskas, D. & Wijffels, J. 2009, "Ship safety in open ports", Transport, vol. 24, no. 2, pp. 113-120.

PIANC 1995, Criteria for Movements of moored ships in Harbours. Artical Guide. 1ª edn, PIANC, Bélgica.

Perez-Labajos, C.A. Spending pattern of the recreational maritime sector and its impact on employment: the case of Cantabria, Spain, Marine Policy, Volume 25, Issue 3, May 2001, Pages 187-196.

Pérez Labajos C.A. Impacto Socioeconómico del Sector Pesquero en Cantabria. Gobierno de Cantabria, Consejería de Ganadería, Agricultura y Pesca, Santander; 2005. pp. 1-125.

Prasad, K., Kumar, S.A., Ramu, C.V. & Sreenivas, P. 2009, "Significance of nearshore wave parameters in identifying vulnerable zones during storm and normal conditions along Visakhapatnam coast, India", Natural Hazards, vol. 49, no. 2, pp. 347-360.

Pulido, A. y Fontela, E. Análisis Input–Output. Modelos, Datos y Aplicaciones. Pirámide, Madrid, 1993.

Puya Cano, M. 1996, Las maniobras de puerto y tecnología naval. 3ª edn, Navegación de Glánans, Barcelona.

Raichlen, F. 1965, Wave-induced oscillations of small moored vessels, Division of Engineering and Applied Science California Institute of Technology, Pasadena, California.

Redondo, L., Baonza González, A. & Gutiérrez Serret, R. 2011, "Modelo físico de agitación y barcos atracados. Ampliación del puerto de Castellón", Ingeniería Civil, no. 162, pp. 17-26.

Redondo, L.R., González, A.B. & Serret, R.M.G. 2010, "Ensayo de barcos atracados en modelo físico a escala reducida", Ingeniería naval, no. 878, pp. 83-97.

Rico, M.P.S. & Castellano, F.M. 1996, Muelle adosado al contradique exterior adaptado a la ROM 0.2-90 y acondicionamiento para terminal de contenedores, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Rinne, H.G., Vasco Costa, F. & España. Ministerio de Obras Públicas 1967, Defensas portuarias de atraque, Ministerio de Obras Públicas, Servicio de Publicaciones, Madrid.

Rosa-Santos, P., Taveira-Pinto, F. & Veloso-Gomes, F. 2014, "Experimental evaluation of the tension mooring effect on the response of moored ships", Coastal Engineering, vol. 85, no. 0, pp. 60-71.

Sagarra, R.M. 1998, Maniobra de los buques, 3ª edn, UPC, Barcelona.

Sagarra, R.M. 1994, Maniobra de los buques, 2ª edn, UPC, Ediciones de la universidad Politécnica de Cataluña, S.L., Barcelona.

Sarabia Alzaga JM, Pérez Labajos C, et al. Evaluación del PIB del Subsector Turístico en Cantabria. Consejería de Turismo del Gobierno de Cantabria, Santander, 1993.

Sarabia Alegría JM, Pérez Labajos C, Sarabia Alzaga JM, López C, San Cristóbal JR. Impactos sectoriales en la economía de Cantabria, Análisis Regional. El proyecto HISPALINK. Mundi Prensa, Madrid; 2001. pp. 239-254.

Sakakibara, S. & Kubo, M. 2008, "Effect of mooring system on moored ship motions and harbour tranquility", International Journal of Ocean Systems Management, vol. 1, no. 1, pp. 84-99.

Sakakibara, S. & Kubo, M. 2007, "Ship berthing and mooring monitoring system by pneumatic-type fenders", *Ocean Engineering*, vol. 34, no. 8–9, pp. 1174-1181.

Schelfn, T.E. & Östergaard, C. 1995, "The vessel in port: Mooring problems", *Marine Structures*, vol. 8, no. 5, pp. 451-479.

Schneider, E. (1944): *Investering og rente*, Nyt Nordisk Forlag, Arnold Busch, Copenhagen. El autor realizó una versión en alemán en 1951 con el título: *Wirtschaftlichkeitsrechnung*, traducida al castellano en 1956 como: *Teoría de la inversión*. La séptima edición alemana (1968) está traducida también al castellano: *Teoría de la inversión*, El Ateneo, Buenos Aires, 1970.

Schuffel, H., Boer, J. & Van Breda, L. 1989, "The ship's wheelhouse of the nineties: the navigation performance and mental workload of the officer of the watch", *Journal of Navigation*, vol. 42, no. 01, pp. 60-72.

Shang, G., Zhen, H. & Ping Ren, H. 2011, "Automatic multi-point mooring vessel monitoring system", pp. 316.

Strand, J.P., Sørensen, A.J. & Fossen, T.I. 1998, "Design of Automatic Thruster Assisted Position Mooring Systems for Ships", *Modeling, Identification and Control*, vol. 19, no. 2, pp. 61-75.

Suárez Bores, P. & Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Laboratorio de Puertos 1969, *Dinámica del atraque de flotadores*, MOP, Servicio de Publicaciones, Madrid.

Suarez, A.S. (1993): *Decisiones óptimas de inversión y financiación en la empresa*, Pirámide, Madrid, 15ª ed.

Thoresen, C.A. 2014, *Port Designer's Handbook*, 3ª edn, ICE Publishing, Londres.

Yamase, S. & Ueda, S. 2007, "Reliability of design methods of fender systems for very large container vessels", *Energy*, vol. 9, pp. 10.

Zendrera, J. 1994, *Amarres y fondeos*, 4ª edn, Noray, Barcelona.

Otras fuentes consultadas (Patentes)

Apelstrand, L. 1991, Mooring System.

Booker, W.G. & Bregoff, D.L. 1981, Boat Mooring Device.

Brushaber, D. 2003a, Mooring whip mounting base for selective movement of mooring whip between positive stops determining mooring and retracted positions.

Cotton, O.L. 1994, Boat mooring device and method.

Faber, J.J. 1964, Mooring Apparatus.

Forrest, E.N. & Forrest, K.N. 2003c, Adjustable Boat Whip Assembly.

Fulton, S.K. 1964, Mooring Whip.

Gorman, W. 1951a, Boat Mooring Arrangement.

Gossen, M.J. 1959, Boat Mooring Apparatus.

Hadcroft, J. & Montgomery, P.J. 2004, Mooring device.

Hadcroft, J. & Montgomery, P.J. 2001, Mooring device.

Kulick, E.L. 1960, Mooring Device.

Lawlor, J. 1977, Ship Mooring System, Sun Shipbuilding And Dry Dock Co. edn.

Lee, P.S., Han, S. & Hyun, C. 2012a, Mooring System for a Vessel, US8499709 edn, US8499709, US.

Lovell, J. 1969, Method for maneuvering a vessel with respect to its station.

Michl, M.W.J. 1997, Vacuum operated boat mooring device.

Montgomery, P.J. 2013b, Automated mooring method and mooring system.

Montgomery, P.J. 2013a, Laser Scanning for mooring robot.

Montgomery, P.J. 2010, Automatic Mooring Method and Mooring System.

Montgomery, P.J. 2009, Mooring system and related means.

Montgomery, P.J. & Rositer, B.J. 2012b, Mooring system with active control.

Montgomery, P.J. & Rositer, B.J. 2003b, Ship based mooring device.

Montgomery, P.J. & Rositer, B.J. 2005, Mooring robot.

Montgomery, P.J. & Rositer, B.J. 2002, Mooring robot.

Montgomery, P.J. & Rossiter, B.J. 2007, Mooring system with active control.

Smith, F.A. 1951b, Boat Fastening Apparatus.

Standwick, T. 1965, Method and apparatus for maneuvering ships.

Steinhauer, F. 1914, Boat Fastening Means.

Warwick, R.A. 1978, Boat Mooring Device.

Yordi, A.H. 1961, Boat mooring device.

Otras fuentes consultadas (Páginas WEB)

AEMET 2015, 23/04/2015-last update, Agencia Estatal de Meteorología [Homepage of © AEMET], [Online]. Available: <http://www.aemet.es> [/2015, 23/04/2015].

APS 2007, 03/2014-last update, SANTANDER PORT AUTHORITIES. Available: <http://www.puertosantander.es> [Accesed 12/12/2014]].

Cadena de suministro 30/07/2014, El puerto de Santander licita las obras del Proyecto ‘Muelle Raos 9’, <http://www.cadenadesuministro.edn>, cadena de suministro.es /Ricardo Ochoa de Aspuru, Madrid.

Cavotec 2015, 12/01/2015-last update, Cavotec [Homepage of Cavotec S.A.], [Online]. Available: <http://www.cavotec.com/> [2015, 15/01/2015].

Europapress 2014, La licitación por 30,8 millones el Muelle Raos 9", SANTANDER, 29 Jul. (EUROPA PRESS), [Online], vol. 2015, no. 15/03/2015, pp. 27/07/2014.

FenderTeam AG 2015, 10/05/2015-last update, FenderTeam AG [Homepage of FenderTeam AG], [Online]. Available: <http://www.fenderteam> [2015, 10/05/2015].

GEODIS 2014, 10/02/2014-last update, GEODIS WILSON. Available: <http://www.geodis.com/> [Accesed 30/04/2014]].

Global Limited 2015, 19/05/2015-last update, Fair play: [/www.ihs.com/](http://www.ihs.com/) [Homepage of Copyright ©2015 IHS Inc], [Online]. Available: <https://www.ihs.com/> [2015, 19/05/2015].

INCREA-Ingeniería Creativa Pita 2015, 10/01/2015-last update, Increa Creativa. Consultants in Marine works & Singular Structures. [Homepage of Increa-Ingeniería Creativa Pita], [Online]. Available: <http://www.increa.eu/es/inicio> [2015, 23/03/2015].

Masmar 2015, 03/06/2015-last update, Masmar [Homepage of masmar], [Online]. Available: <http://www.masmar.net/es> [2015, 03/06/2015].

New Pyme S.L. 2015, 10/01/2015-last update, Guía de incoterms 2010 - EXW - Ex Works (en fábrica, lugar convenido) [Homepage of New Pyme S.L.], [Online]. Available: <http://www.areadepymes.com> [2015, 19/01/2015].

PIANC 2015, 10/05/2015-last update, PIANC: The World Association for Waterborne Transport Infrastructure [Homepage of PIANC], [Online]. Available: <http://www.pianc.org/> [2015, 12/05/2015].

Proes 2015, 01/01/2015-last update, <http://web.proes.es/> [Homepage of Copyright © PROES Consultores], [Online]. Available: <http://web.proes.es/> [2015, 15/03/2015].

Puerto de Pasajes 2014, 28/11/2014-last update, Puerto de pasajes [Homepage of Puerto de pasajes], [Online]. Available: <http://www.puertopasajes.net> [Accesed 01/12/2014]].

S P 2014, SPAIN PORTS. Available: <http://www.puertos.es> [Accesed 20/12/2014]].

Vesseltracker GmbH 2015, 19/05/2015-last update, Vesseltracker [Homepage of vesseltracker.com GmbH], [Online]. Available: <http://images.vesseltracker.com/> [2015, 19/05/2015].

WWL 2014, Date: 11 March 2014-last update, Wallenius Wilhelmsen Logistics. Available: <http://www.2wglobal.com/> [Accesed 15/12/2014]].

