



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y TECNICAS DE LA
NAVEGACION Y DE LA CONSTRUCCION NAVAL**

AREA: CONSTRUCCIONES NAVALES

TESIS DOCTORAL

**ARQUITECTURA Y TECNOLOGIA EN EL DISEÑO DEL
ESTANDAR MERCANTE BERGANTIN**

Autor:

D. Josu Ruiz Godia

Directores:

Dr. Emilio Eguía López

Dr. Francisco Fernández González

Santander, Septiembre de 2010

COLABORACIONES



Colabora en la obra la Subdirección General de los Archivos Estatales del Ministerio de Cultura.

CRÉDITOS REPRODUCCIONES

Nuestro agradecimiento a las siguientes instituciones:

© Consorci de les Drassanes Reials i Museu Marítim de Barcelona. Autor: Francisco Jaén para el *Plano del bergantín Segundo Romano* y *Plano del bergantín Nueva Casimira*

© España. Ministerio de Cultura. Archivo General de Simancas para los documentos y *planos del bergantín Ardilla* y *bergantín El Cazador*, SMA 362 y MPD, 21, 49

© Fundación Oceanográfica de Guipúzcoa – Aquarium de Donostia-San Sebastián para el plano *Nº 1 Plano por la construcción de uno bergantín goleta del porte de 110 a 130 toneladas*

© Museo Naval. Madrid para el *Plano del bergantín El Gargo*

*Dedicado a Ibai, mi hijo, mi vida.
Dedicado a Irati, mi vida, mi hija.*

AGRADECIMIENTOS

Realmente encuentro muy difícil recordar a todas aquellas personas que han sido los vientos favorables en este proyecto, han sido muchas y gracias a su generosidad han hecho posible llegar a buen puerto.

Gracias, a mis directores de la Tesis, a Emilio Eguia, por su ilusión continúa, y gracias a Francisco Fernández que si no me hubiera ayudado en los momentos más difíciles no estaría escribiendo estas líneas. Gracias al profesor Julián de Benito, que confió en mi pero no pudo ayudarme y gracias al profesor Marcelino Sobrón por ayudarme al principio.

Gracias a mis colaboradores en la etapa de investigación ya que me ayudaron a enfocar el proyecto: Cruz Apestegui, J.M. Juan García Aguado, Aingeru Zabala, Lourdes Odriozola, Luis Perez, J.M. Susteta, J.M. Unsain, Ramon Ecay y J.L. Casado Soto.

Gracias a los modelistas navales Jesús M. Perona, Carlos Calviño, Ramón Somoza, Jose M. Rivas y Marcos Perez.

Gracias a Lola Higuera por su gran ayuda en el Museo Naval de Madrid.

Gracias a Oscar Pedro Saez, de la empresa Bluebox Estudio, por su ayuda en la modelización del bergantín.

Gracias a Manuel Lopez, de la empresa Nautatec, por su inestimable ayuda en la parte de cálculo estructural.

Gracias a Roberto Franco por su ayuda con la sintaxis, la gramática y la gran facilidad que tiene en narrar.

Gracias a los funcionarios de Museos, Archivos y Bibliotecas. Quiero destacar a los trabajadores del Archivo de Simancas, los del Museo Naval de San Sebastian y los de la Sociedad Oceanográfica de Guipúzcoa por su apoyo y ayuda y por su simpatía.

Gracias a Jose Valle por su ayuda en el tedioso papeleo.

Finalmente, gracias a mi mujer, Iratxe, a mis hermanos Javier y Miriam, gracias sobre todo a mi padre Jesús, que siempre pensaba que el año siguiente acabaría la Tesis pero así ha sido durante demasiados años.

Gracias a todos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

- Agradecimientos.....	7
- Índice de contenidos	9
- Índice de ilustraciones	11
- Índice de tablas	17
- Índice de gráficos	18
- Capítulo I. Introducción	19
1.1. Clases de bergantines	23
1.2. Otras naves que navegaban a la vez que el bergantín ..	31
1.3. Historia y evolución técnica	33
- Capítulo II. Objetivos.....	41
- Capítulo III. Estado del Arte.....	47
3.1. Obras consultadas	50
3.2. El plano de formas	63
3.3. Planos de formas de Romero Landa y su Reglamento .	66
3.4. El plano de formas de la Sociedad Oceanográfica de Guipúzcoa (S.O.G.)	86
3.5. Autores de referencia	93
3.6. La construcción de bergantines por zonas geográficas	111
3.7. Los astilleros en el siglo XVIII	123
3.8. Estabilidad	132
3.9. Comportamiento estructural	139
3.10. Arqueo	144
- Capítulo IV. Plan Experimental	159
4.1. Fase 1: Localización de piezas	164
4.2. Fase 2: Construcción de la maqueta real	168
4.3. Fase 3: Comparación de piezas	174
4.4. Fase 4: Comparación de detalles constructivos	182
4.5. Fase 5: Construcción del bergantín	185
4.5.1. Localización en el Reglamento de Romero Landa	189
4.5.2. Digitalización.	190

4.5.3. Dimensionamiento.	192
4.5.4. Extrusión.	193
4.5.5. Carpintería de ribera.	193
4.5.6. Adecuación al plano de formas de la S.O.G.	195
4.6. Fase 6: Cálculo de la Estabilidad	284
4.7. Fase 7: Cálculo del Arqueo	295
4.8. Fase 8: Fichas de las piezas	297
- Capítulo V. Resultados y Análisis	299
5.1. Imágenes "renderizadas" del bergantín	302
5.2. Estabilidad	310
5.3. Comportamiento estructural	322
5.4. Arqueo	339
- Conclusiones y Futuras Investigaciones	341
- Fuentes	347
- Anexos	363
- Anexo 1. Fichas de las piezas.	
- Anexo 2. Resumen de las piezas.	
- Anexo 3. El Reglamento de Romero Landa.	
- Anexo 4. Plano de la S.O.G.	
- Anexo 5. Plano Bergantín <i>El Cazador</i> .	
- Anexo 6. Plano Bergantín <i>El Gargo</i> .	
- Anexo 7. Plano bergantín <i>Nueva Casimira</i> .	
- Anexo 8. Plano bergantín <i>Segundo Romano</i> .	

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

- Figura 1. Bergantín clásico.	24
- Figura 2. Bergantín del siglo XVIII.	24
- Figura 3. Bergantín redondo.	25
- Figura 4. Bergantín redondo.	25
- Figura 5. Bergantín de esnón.	26
- Figura 6. Bergantín-Goleta.	27
- Figura 7. Bergantín-Goleta.	27
- Figura 8. Bergantín hermafrodita.	28
- Figura 9. Bergantín-Goleta de gavia a popa.	28
- Figura 10. Brick-barca.	29
- Figura 11. Bergantín polacra.	30
- Figura 12. Jabeque-bergantina.	30
- Figura 13. Jabeque.	31
- Figura 14. Portada del libro de Artiñano.	50
- Figura 15. Portada del "Traite du navire" de Bouguer.	51
- Figura 16. Una de las láminas del "Traite du navire".	51
- Figura 17. Portada del libro de Chapelle.	52
- Figura 18. Portada del "Architectura Navalis Mercatoria" de Chapman.	53
- Figura 19. Diferentes tipos de arboladuras del libro de Chapman.	54
- Figura 20. Portada del libro de Duhamel du Monceau.	55
- Figura 21. Lámina que muestra la sección de un navío.	55
- Figura 22. Portada del álbum de construcción naval del Marqués de la Victoria.	57
- Figura 23. Una de las láminas del álbum del Marqués de la Victoria.	58
- Figura 24. Portada del libro de Monjo i Pons.	59
- Figura 25. Una lámina del libro de Paasch.	60
- Figura 26. Una lámina del libro de Paasch.	60
- Figura 27. Portada del libro de Rubio Serrano.	61
- Figura 28. Plano del bergantín <i>El Cazador</i>	75
- Figura 29. Bergantín <i>El Cazador</i> (detalles de la proa).	76
- Figura 30. Bergantín <i>El Cazador</i> (detalles de la popa).	76
- Figura 31. Sección longitudinal.	77
- Figura 32. Sección transversal.	77
- Figura 33. Bergantín <i>El Gargo</i>	78
- Figura 34. Detalles de desplazamiento y estabilidad.	78
- Figura 35. Detalles de las dimensiones.	79
- Figura 36. Alzado de <i>El Gargo</i>	79
- Figura 37. Detalles de la proa.	80
- Figura 38. Detalles de la popa.	80
- Figura 39. Sección longitudinal.	81
- Figura 40. Sección transversal.	81
- Figura 41. Bergantín <i>El Galgo</i> , de Romero Landa.	82
- Figura 42. Bergantín <i>El Cazador</i> , de Romero Landa.	83
- Figura 43. Dimensiones del bergantín <i>El Cazador</i> , de Romero Landa.	83

- Figura 44. Lámina número 66 del Reglamento de Romero Landa. ..	85
- Figura 45. Plano de la S.O.G.	87
- Figura 46. Alzado.	88
- Figura 47. Detalles de la proa.....	88
- Figura 48. Detalles de la popa.....	89
- Figura 49. Sección longitudinal.....	89
- Figura 50. Detalles de estabilidad.....	90
- Figura 51. Detalles de desplazamiento.....	90
- Figura 52. Sección transversal.....	91
- Figura 53. Detalles del navío de 74 cañones de Boudriot.....	93
- Figura 54. Comienzo de la construcción en el astillero.....	94
- Figura 55. Sección de proa en el astillero.....	95
- Figura 56. Sección media en el astillero.....	96
- Figura 57. Sección de popa en el astillero.....	97
- Figura 58. Sección inicial de popa.....	98
- Figura 59. Sección de popa.....	99
- Figura 60. Cuadernas en la sección media.....	100
- Figura 61. Sección medio-popa del navío.....	101
- Figura 62. Sección medio-proa.....	102
- Figura 63. Portada de <i>Le Cygne</i>	103
- Figura 64. Detalles de <i>Le Cygne</i>	103
- Figura 65. Detalles de <i>Le Cygne</i>	103
- Figura 66. Portada del libro "La carpintería de ribera en Galicia". ..	104
- Figura 67. Cuaderna tipo varenga.....	105
- Figura 68. Cuaderna tipo genol.....	106
- Figura 69. Tipo varenga, ligazones.....	106
- Figura 70. Zona central.....	107
- Figura 71. Sección de proa.....	108
- Figura 72. Planta de cubierta.....	108
- Figura 73. Popa.....	109
- Figura 74. Proa.....	110
- Figura 75. Planos del bergantín <i>Badger</i>	121
- Figura 76. Astillero en Galicia.....	123
- Figura 77. Maderas para la construcción naval.....	125
- Figura 78. Aserrado de las piezas.....	126
- Figura 79. Clavazón en el forro.....	128
- Figura 80. Herramientas diversas.....	129
- Figura 81. Uniones en el codaste.....	131
- Figura 82. Uniones en la roda.....	132
- Figura 83. Nave vasco-cántabra del siglo XVIII.....	148
- Figura 84. Volumen de las naves calculado con pipas.....	149
- Figura 85. Arqueo de Tomé Cano y las Ordenanzas.....	150
- Figura 86. Carabela Los Tres Reyes Magos.....	150
- Figura 87. As-Dos-Tres.....	152
- Figura 88. Sección de la cuaderna maestra en buques de la Armada y mercantes.....	154
- Figura 89. Proporciones en el siglo XVI.....	157
- Figura 90. Lámina 66 del Reglamento de Romero Landa.....	164
- Figura 91. Lámina 67.....	165
- Figura 92. Lámina 68.....	165
- Figura 93. Lámina 69.....	166

- Figura 94. Lámina 70.....	166
- Figura 95. Lámina 71.....	167
- Figura 96. Lámina 72.....	167
- Figura 97. Marcado para plantillas.	168
- Figura 98. Corte de piezas.	168
- Figura 99. Piezas de la popa organizadas.....	169
- Figura 100. Piezas de cuadernas organizadas.....	169
- Figura 101. Unión de varias piezas para formar cuadernas.	169
- Figura 102. Formación de la estructura principal.	170
- Figura 103. Detalle de la proa.	170
- Figura 104. Detalle de la popa.....	170
- Figura 105. Cuaderna maestra.	171
- Figura 106. Cuadernas de armar.	171
- Figura 107. Sujeción de los elementos.....	172
- Figura 108. Formación de la popa.	172
- Figura 109. Formación de la popa.	172
- Figura 110. Formación de la popa.	173
- Figura 111. Formación de la popa.	173
- Figura 112. Proa de <i>El Gargo</i>	182
- Figura 113. Proa del plano de la S.O.G.	182
- Figura 114. Popa de Romero Landa.	184
- Figura 115. Popa del plano de la S.O.G.....	184
- Figura 116. Despiece de Duhamel de Monceau.	185
- Figura 117. Detalles constructivos de Boudriot.	186
- Figura 118. Detalles del Marqués de la Victoria.	187
- Figura 119. Detalles de Monjo i Pons.	187
- Figura 120. Lámina 66 de Romero Landa.....	191
- Figura 121. Pieza número 10 de Romero Landa.	191
- Figura 122. Pieza 10 "rasterizada".	192
- Figura 123. Pieza 10 geométrica.....	193
- Figura 124. Pieza 10 en 3D.	193
- Figura 125. Pieza 10 real.	194
- Figura 126. Pieza 10 con aclaraciones.....	195
- Figura 127. Plano de formas del bergantín de la S.O.G.	197
- Figura 128. Sección marcada.	198
- Figura 129. Localización de partes y piezas.	199
- Figura 130. "Rasterización" de las curvas del plano con polilíneas.	200
- Figura 131. Proceso de "rasterización" completado.	201
- Figura 132. Líneas de las cuadernas sin la imagen guía del plano.	201
- Figura 133. Cuadernas de la popa (genoles).	202
- Figura 134. Cuadernas de la proa (genoles).	202
- Figura 135. Cuaderna 9 de proa procedente del plano de formas corregido	204
- Figura 136. Cuaderna con la simetría.....	204
- Figura 137. Cuaderna con el grosor añadido (3D).....	205
- Figura 138. Unión del forro con la quilla en la parte media del bergantín	206
- Figura 139. Unión del forro con la quilla en las zonas de proa y popa.....	206
- Figura 140. Ensamble de la quilla con la cuaderna en zona media.....	206

- Figura 141. Ensamble de la quilla con cuaderna en zona de popa.	207
- Figura 142. Genoles y varengas con ligazones en cuadernas dobles.....	208
- Figura 143. Varenga (rojo) y genol (verde) en cuaderna.....	208
- Figura 144. Varenga y genol.	209
- Figura 145. Detalle de cuaderna doble con su varenga y genol. ...	209
- Figura 146. El detalle anterior en perspectiva.	210
- Figura 147. Se pueden ver ambas partes separadas.	210
- Figura 148. Nombres de las diferentes piezas que componen las cuadernas dobles.....	211
- Figura 149. Medidas principales utilizadas.	211
- Figura 150. Estructura de las partes de la cuaderna maestra.	212
- Figura 151. Cuaderna maestra final con las marcas en las que se divide.....	213
- Figura 152. Cuaderna maestra con el ancho y divisiones marcadas.....	213
- Figura 153. Quilla (101).....	220
- Figura 154. Quilla (102).....	220
- Figura 155. Quilla (103).....	221
- Figura 156. Quilla (104).....	221
- Figura 157. Roda de Romero Landa en 3 piezas.	223
- Figura 158. Roda (401).....	225
- Figura 159. Contrarroda de Romero Landa.....	226
- Figura 160. Contrarroda.....	227
- Figura 161. Tajamar de Romero Landa.	227
- Figura 162. Tajamar en el plano de la S.O.G.	228
- Figura 163. Tajamar.	229
- Figura 164. Codaste de Romero Landa.	230
- Figura 165. Sección de popa en el plano de la S.O.G. Inclinación del codaste.....	232
- Figura 166. Codaste.	233
- Figura 167. Curva de codaste de Romero Landa.....	234
- Figura 168. Curva del codaste.	235
- Figura 169. Yugo principal de Romero Landa.	235
- Figura 170. Yugos secundarios de Romero Landa.....	235
- Figura 171. Yugo (principal).	237
- Figura 172. Yugos secundarios.....	237
- Figura 173. Formación de cuadernas dobles.....	240
- Figura 174. Quilla con alefriz recibiendo forro en partes anchas de la nave.	241
- Figura 175. Quilla con alefriz en finos de proa y popa.	241
- Figura 176. Varenga número 22 de Romero Landa.....	242
- Figura 177. Genol número 38 de Romero Landa.....	243
- Figura 178. Ligazón número 54 de Romero Landa.....	243
- Figura 179. 2ª Ligazón número 70 de Romero Landa.	244
- Figura 180. Revés número 118 de Romero Landa.....	244
- Figura 181. Cuadernas de relleno "mudando".....	246
- Figura 182. Cuaderna tipo Varenga.	248
- Figura 183. Cuaderna tipo Genol.	248
- Figura 184. Cuadernas de la proa del bergantín de la S.O.G.....	249
- Figura 185. Sección explicativa.	250

- Figura 186. Cuadernas de la sección Rasel de Proa-Cuaderna Maestra	250
- Figura 187. Cuadernas de la sección Rasel de Popa-Cuaderna Maestra.	251
- Figura 188. Cuadernas de la popa.	251
- Figura 189. Sobrequilla de proa.....	253
- Figura 190. Sobrequilla de la sección medio-proa.	254
- Figura 191. Sobrequilla de la sección medio-popa.....	254
- Figura 192. Sobrequilla de popa.	255
- Figura 193. Puntales de la sección de proa.....	256
- Figura 194. Baos de Romero Landa.	257
- Figura 195. Baos de la proa.	257
- Figura 196. Baos de la sección medio-proa.	258
- Figura 197. Baos de la sección medio-popa.....	258
- Figura 198. Baos de popa.	259
- Figura 199. Durmientes de proa.	260
- Figura 200. Durmientes de la sección medio-proa.....	261
- Figura 201. Durmientes de la sección medio-popa.....	261
- Figura 202. Durmientes de popa.	262
- Figura 203. Serviolas de Romero Landa.	263
- Figura 204. Serviolas.	264
- Figura 205. Curva de serviola.....	265
- Figura 206. Buzarda.	266
- Figura 207. Curva Banda de Romero Landa.	266
- Figura 208. Curva Banda.....	267
- Figura 209. Curvas alto-abajo.	268
- Figura 210. Curvas valonas.	269
- Figura 211. Curvas valonas de proa.....	269
- Figura 212. Curvas de la sección medio-proa.	270
- Figura 213. Aleta de Romero Landa.....	271
- Figura 214. Aletas.	272
- Figura 215. Gambotas de Romero Landa.	273
- Figura 216. Gambotas.	273
- Figura 217. Quilla en sus 4 secciones.....	274
- Figura 218. Añadimos estructuras principales de proa y popa.....	275
- Figura 219. Elementos principales de construcción de naves.	276
- Figura 220. Colocación de las cuadernas maestras.	277
- Figura 221. Colocación de los raseles de proa y popa	278
- Figura 222. Colocación de las cuadernas de armar.	278
- Figura 223. Colocación de las bagaras.	279
- Figura 224. Colocación de las cuadernas de relleno.	279
- Figura 225. Baos, puntales y durmientes.....	280
- Figura 226. Elementos de maniobra y tripulación en zonas de proa y popa	281
- Figura 227. Curvas de refuerzo.	281
- Figura 228. Bergantín acabado.	282
- Figura 229. Otra vista del bergantín acabado.	283
- Figura 230. Otra vista.	283
- Figura 231. Detalles de la estabilidad.....	284
- Figura 232. Gráfico de la altura metacéntrica (GM).....	286

- Figura 233. Secciones para el cálculo.....	287
- Figura 234. Distancias a la flotación.	287
- Figura 235. Caja de cuadernas con los puntos.....	288
- Figura 236. Simulación de los datos introducidos.....	289
- Figura 237. Bergantín de la S.O.G.	295
- Figura 238. Ficha ejemplo.....	297
- Figura 239. Piezas que forman la quilla.....	302
- Figura 240. Quilla montada.	302
- Figura 241. Se añaden las estructuras principales de proa y popa.	303
- Figura 242. Se refuerzan proa y popa y se añaden los yugos.	303
- Figura 243. Se añaden las cuadernas principales: cuaderna maestra doble y raseles de proa y popa.....	304
- Figura 244. Se añaden el resto de las cuadernas de armar.....	304
- Figura 245. Se añaden las cuadernas de relleno.	305
- Figura 246. Otra perspectiva. Puede verse la sobrequilla.	305
- Figura 247. Se añaden los baos, gambotas, escobenes y curvas...	306
- Figura 248. A vista de pájaro.	306
- Figura 249. Perspectiva por la amura de estribor.....	307
- Figura 250. Perspectiva por la aleta de estribor.	307
- Figura 251. Perfil.....	308
- Figura 252. Planta.	308
- Figura 253. Perspectiva desde arriba.	309
- Figura 254. Perspectiva desde abajo.....	309
- Figura 255. Bergantín de la S.O.G.	315
- Figura 256. Plano del bergantín con CG y CF.....	316
- Figura 257. Plano del bergantín con CG y CF.....	317
- Figura 258. Perspectiva de Maxsurf.	317
- Figura 259. Bergantín modelo.	323
- Figura 260. Corte por crujía.	323
- Figura 261. Modelo con forro. Vista de proa.....	324
- Figura 262. Modelo con forro. Vista de popa.	324
- Figura 263. Software Compass FEM.....	325
- Figura 264. Deformada.	326
- Figura 265. Tensiones Sx.	327
- Figura 266. Von Mises.	327
- Figura 267. Deformada. Mar plana. Vista lateral.	329
- Figura 268. Tensión Sx. Mar plana. Vista de proa.	330
- Figura 269. Von Mises. Mar plana. Vista de proa.	330
- Figura 270. Deformada por ola 90°. Vista lateral.	331
- Figura 271. Deformada por ola 90°. Vista de popa.	332
- Figura 272. Tensión Sx por ola 90°. Vista de proa.	332
- Figura 273. Tensión Sx por ola 270°. Vista de popa.....	333
- Figura 274. Von Mises por ola 135°. Vista lateral.....	333
- Figura 275. Von Mises por ola 35°. Vista de proa.	334
- Figura 276. Deformada por ola de fase 0°. Vista lateral.	335
- Figura 277. Deformada por ola fase 225°. Vista lateral.	335
- Figura 278. Deformada por ola 180°. Vista depopa.....	336
- Figura 279. Tensión Sx por ola 90°. Vista de proa.	336
- Figura 280. Tensión Sx por ola 225°. Vista de popa.....	337
- Figura 281. Von Mises por ola 90°. Vista lateral.....	337
- Figura 282. Von Mises por ola 135°. Vista de popa.....	338

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Bergantines de Guipúzcoa.....	112
- Tabla 2. Tabla comparativa de bergantines.	176
- Tabla 3. Proporción de las piezas.....	177
- Tabla 4. Cuadernas de Armar según Romero Landa.	245
- Tabla 5. Resumen valores Sx y Von Mises.....	338

ÍNDICE DE GRÁFICOS

- Gráfico 1. Curvas Hidrostáticas.....318
- Gráfico 2. Curvas de los valores de KN.....319
- Gráfico 3. Estabilidad a grandes ángulos.320